



กองการพิเศษ

14

ลงทะเบียนวันที่ - 2 ก.พ. 2550
เลขทะเบียน.....072875.
เลขหมู่ ๖๗
T.P
1130
๕ ๕๙๗ ก
หัวข้อเรื่อง.....
ดูรายละเอียดเพิ่มเติม - ๖๖๖

การพัฒนาพลาสติกผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

การผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง

(Development of Polymer Blends

for Hard-Type Sport Shoes Bases Industry)

โดย

ดร.สมหมาย ผิวสอาด หัวหน้าโครงการ

นางวีราภรณ์ ผิวสอาด นักวิจัย

นายณรงค์ชัย โอเจริญ นักวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2548

การพัฒนาพลาสติกผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม
การผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง

(Development of Polymer Blends
for Hard-Type Sport Shoes Bases Industry)

โดย

ดร.สมหมาย	ผิวสอาด	หัวหน้าโครงการ
นางวีราภรณ์	ผิวสอาด	นักวิจัย
นายณรงค์ชัย	โอเจริญ	นักวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2548

คำนำ

รายงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมพลาสติกผสมเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาที่เป็นพื้นแข็ง เช่น รองเท้ากอล์ฟ รองเท้าฟุตบอล รองเท้าเบสบอล โดยใช้ไนลอน 6 เป็นพลาสติกหลักผสมอีลาสโตเมอร์ เพื่อให้พลาสติกผสมมีความยืดหยุ่น ซึ่งเตรียมพลาสติกผสมนี้เพื่อใช้ทดแทนวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้ากีฬา ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูงตามลำดับ ส่งผลให้ราคาต้นทุนของการผลิตรองเท้ากีฬามีราคาสูงมากขึ้น

การวิจัยนี้ได้เตรียมการผสมไนลอน 6 กับอีลาสโตเมอร์ชนิดต่างๆและทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็ง (Hardness) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และความยืดหยุ่นต่อการหักงอ (Flexibility tests) เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน พบว่าการใช้ยางธรรมชาติเป็นอีลาสโตเมอร์มีความเหมาะสมทั้งสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานของพื้นรองเท้ากีฬาและความเหมาะสมในด้านราคาและการได้มาซึ่งวัตถุดิบ เนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งของยางธรรมชาติที่ใหญ่มาก

คณะผู้วิจัยคาดหวังว่าผลงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการเตรียมพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอไมด์กับยางธรรมชาติเพื่อนำไปใช้พัฒนาในอุตสาหกรรมการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็งและในภาคอุตสาหกรรมพลาสติกต่างๆรวมทั้งเป็นพื้นฐานความรู้สำหรับสาขาวิชาวิศวกรรมพลาสติกและวิศวกรรมพอลิเมอร์ต่อไป

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2549

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 การพัฒนาพื้นรองเท้ากีฬา	3
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	9
2.2.1 ไนลอน	9
2.2.2 สมบัติที่สำคัญของยาง	12
2.2.3 สารเติมแต่ง	23
2.3 พอลิเมอร์ผสม	34
2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องฉีด	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัตถุประสงค์	42
3.2 เครื่องมือทดสอบและเครื่องจักรที่ใช้	42
3.3 แผนการดำเนินงาน	42
3.4 ขั้นตอนการเตรียมพลาสติกผสมโดยวิธีการอัดรีด	45
3.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแบบฉีด	45
3.6 วิธีการทดสอบ	47

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	
4.1 ผลการเตรียมพลาสติกผสมโดยวิธีการอัดรีด	49
4.2 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแบบฉีด	49
4.3 ผลการทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness	51
4.4 ผลการทดสอบค่าการหักงอ	53
4.5 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก	54
4.6 ผลการวัดค่าการทนแรงดึงโดยวิธี Tensile Strength	55
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แสดงภาพวัตถุดิบและชิ้นทดสอบโครงการ	61
ภาคผนวก ข แสดงภาพเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการดำเนินงาน	66
และตารางผลการทดสอบ	
ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย	92

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ในการเตรียมพลาสติกผสมระหว่างไนลอน-6 และพลาสติกชนิดอื่น หรือ อีลาสโตเมอร์ เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลาสติกเพื่อการขึ้นรูปพื้นรองเท้ากีฬาที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ พบว่าการเตรียมพลาสติกผสมระหว่างไนลอน 6 และ ยางธรรมชาติ โดยใช้อัตราส่วนในการผสมไนลอน-6 ต่อ ยางธรรมชาติเป็นดังนี้ 95:5%, 90:10%, 80:20% ทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวและไปทำการตัดเม็ดพลาสติกผสม นำไปทดสอบค่าดัชนีการไหลและทำการฉีดขึ้นรูปเป็นรูปพื้นรองเท้าเพื่อการทดสอบการยืดหยุ่นจากการหักงอ และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบเพื่อการทดสอบค่าการทนทานแรงดึงที่ผิว การทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ ทดสอบการทนแรงกระแทก และทดสอบค่าการทนแรงดึง แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับไนลอน 6 ที่ไม่ได้ผสมยางธรรมชาติ จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่า ที่การทดสอบค่าความแข็งแรงที่ผิวสูตร 95:5% ให้ค่าความแข็งแรงที่ผิวมากที่สุดแต่ก็ยังต่ำกว่าไนลอน 6 ที่ไม่ได้ผสมยาง ส่วนที่ให้ค่าต่ำที่สุดคือ สูตร 80:20% และจากการทดสอบการบิดงอพบว่าสูตร 80:20% ให้ค่าการบิดงอสูงที่สุด ส่วนค่าการทนแรงกระแทกสูตร 80:20% ให้ค่าสูงที่สุด การทดสอบการทนแรงดึงสูตร 95:5% ให้ค่าสูงที่สุด แต่ก็ยังต่ำกว่าไนลอน 6 ที่ไม่ได้ผสมยาง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อยังเพิ่มปริมาณยางมากขึ้นก็จะทำให้ได้สมบัติความต้านทานต่อการหักงอ และการทนแรงกระแทกซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในงานพื้นรองเท้ากีฬา ซึ่งผลงานวิจัยนี้เหมาะสมกับการนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม การผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็งต่อไป

Abstract

This research aims to study the preparation and development of materials for golf and baseball-shoes bases production using nylon 6 as matrix materials. Blending of nylon 6 and natural rubbers (NR) at different ratios; 95:5, 90:10 and 80:20 were carried out using single screw extruder followed by cutting into pellets and subjected to melt flow index analysis and fabricated into shoes-base shape and impacted test samples by injection molding. Surface hardness analysis as well as flexibility tests, impact strength tests and tensile tests were conducted to compare with the nylon 6 samples. It was found that the blending ratio of nylon 6 : NR at ratio of 95:5 gave the best results of tensile strength and shore hardness tests, while the ratio of 80:20 gave the best results of impact and flexibility. Increase in rubber contents resulted in higher flexibility but the materials compatibility decreased. The polymer blends are suitable for sport shoes bases utilization.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการ การพัฒนาพลาสติกผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง ได้สำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากองค์กรและบุคคลต่างๆ ดังนี้

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

บริษัท ฟอนเท็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด และคุณพิศาล จันทร์ประกอบ ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา ที่
ให้ความอนุเคราะห์คำปรึกษา วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยงานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จด้วยดี

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณองค์กรและผู้มีอุปการคุณต่างๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความ
อนุเคราะห์ช่วยให้โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

พ.ศ. 2549

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของไนลอน 6	12
ตารางที่ 2.2 พลังงานจำเพาะที่เก็บสะสมในตัวขงวัตถุ	15
ตารางที่ 2.3 ประเภทของสารเติมแต่งสำหรับพอลิเมอร์	26
ตารางที่ 2.4 การใช้งานและปริมาณของสารเติมแต่งในพอลิเมอร์	28
ตารางที่ 2.5 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	30
ตารางที่ 2.6 สารเพิ่มความทนแรงกระแทกที่สำคัญทางการค้า	33
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสถานะในการบวนการวิธีการอัดรีด	45
ตารางที่ 3.2 สถานะในกระบวนการขึ้นรูปขึ้นงานแบบฉีด	46
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness	51

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนไหว (เฉพาะเท้าซ้าย)	3
รูปที่ 2.2 รอยพิมพ์ฝ่าเท้าแสดงลักษณะและการบิดเบี้ยวของเท้า	4
รูปที่ 2.3 การถ่ายน้ำหนักจากสันเท้าไปยังบริเวณส้นกลางของเท้า	5
รูปที่ 2.4 แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหา “การคว่ำเท้า”	5
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของรองเท้ากีฬา	6
รูปที่ 2.6 พื้นรองเท้าส่วนกลาง	7
รูปที่ 2.7 พื้นรองเท้าด้านนอกและตาพื้นรองเท้า	7
รูปที่ 2.8 พื้นรองเท้าด้านใน	7
รูปที่ 2.9 ส่วนรองรับสันเท้า	8
รูปที่ 2.10 ส่วนบนของรองเท้าและระบบร้อยเชือกผูกรองเท้า	8
รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของไนลอน 6	9
รูปที่ 2.12 ลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	18
รูปที่ 2.13 กราฟความเค้น – ความเครียดลักษณะต่างๆ ของพอลิเมอร์	29
รูปที่ 2.14 ผลของสารเพิ่มความทนแรงกระแทกต่อความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์	31
รูปที่ 2.15 ภาพขยายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง	32
รูปที่ 2.16 อนุภาคของสารเพิ่มความทนแรงกระแทกซึ่งมีลักษณะทรงกลม ที่กระจายอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์	32
รูปที่ 2.17 สัณฐานวิทยาของโคพอลิเมอร์แบบบล็อก	33
รูปที่ 2.18 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่อง Extrusion แบบสกรูเดี่ยว	37
รูปที่ 2.19 แสดงชุดหลอมและฉีดพลาสติก	40
รูปที่ 3.1 แผนผังดำเนินการทดสอบ	44
รูปที่ 4.1 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง	49
รูปที่ 4.2 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหักงอแบบไม่มีฝักรอง	50
รูปที่ 4.3 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหักงอแบบมีฝักรอง	50
รูปที่ 4.4 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงดึง	51

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.5	ชิ้นงานสำหรับทดสอบการแรงดึง	51
รูปที่ 4.6	ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง	52
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่าการหักงอ	53
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงค่าการทนต่อแรงกระแทก	54
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงค่าการทนแรงดึง	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตรองเท้ากีฬา เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสำคัญที่ทำรายได้สู่ประเทศไทย และส่งเสริมให้มีการสร้างงานที่มีคุณภาพแก่ประชากรของประเทศ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของไทย พื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง เช่น รองเท้าฟุตบอล รองเท้ากีฬารักบี้ รองเท้าวิ่ง หรือ รองเท้ากีฬาเบสบอล เป็นวัสดุที่ทำจากพลาสติกสังเคราะห์ที่มีสมบัติพิเศษเหมาะสมต่อการใช้งานคือ มีความแข็งแรงสูง และ มีความยืดหยุ่นตามมาตรฐาน ซึ่งวัสดุเหล่านี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบต่อ อุตสาหกรรมผลิตรองเท้ากีฬาดังกล่าวในปัจจุบัน คือ ราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้ามีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นอย่างมาก พลาสติกที่ใช้เป็นพื้นรองเท้าเป็นพลาสติกผสมที่มีส่วนประกอบหลักคือ พอลิเอไมด์ (Polyamides) ประเภทไนลอน 6 (Nylon 6) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีการใช้อย่างแพร่หลายและมีจำหน่ายในวงการอุตสาหกรรมพลาสติกทั่วไป มีสมบัติด้านความแข็งแรงและความทนทานสูง แต่ขาดสมบัติความยืดหยุ่น เมื่อนำไปใช้งานในลักษณะที่มีการหักโค้งหรือจะแตกง่าย ในทางอุตสาหกรรมผลิตรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง ใช้พลาสติกที่เป็นพลาสติกผสมมีความแข็งแรงตามมาตรฐาน ASTM D785 และมีความยืดหยุ่นตามมาตรฐานการหักงอไม่ต่ำกว่า 80,000 ครั้ง ซึ่งเป็นพลาสติกที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ดังนั้น ทางผู้ผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็งจึงมีแนวคิดในการพัฒนาพลาสติกผสมเพื่อใช้เป็นวัสดุในการขึ้นรูปพื้นรองเท้ากีฬาให้มีสมบัติเหมาะสมต่อกีฬาแต่ละประเภทโดยใช้วัสดุพื้นฐาน คือ ไนลอน 6 ผสมกับพลาสติกที่ให้ความยืดหยุ่นสูงประเภทอีลาสโตเมอร์ และศึกษาสภาวะเหมาะสมในการขึ้นรูปพื้นรองเท้า โดยกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีดรวมทั้งทำการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกผสมให้เหมาะกับการใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีทั้งน้ำ ความร้อน แสงแดด เป็นต้น งานวิจัยนี้จะมีผลโดยตรงต่ออุตสาหกรรมผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง ทั้งในด้านการลดต้นทุนและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนาสูตรของพลาสติกผสมระหว่างของไนลอน 6 และยางธรรมชาติ เพื่อใช้ในการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของพลาสติกผสมในอุตสาหกรรมพลาสติก

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. หาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิเอไมด์ (ไนลอน 6) และยางธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิและวิธีในการผสมกัน
2. ทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ ทดสอบความแข็ง (Hardness ASTM D 2240-86) การทดสอบค่าการหักงอ (Flexing ASTM D 671 – 93) การทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก Izod Impact (ASTM D265-84) และการทดสอบค่าการทนแรงดึงโดยวิธี Tensile Strength (ASTM D638-84)
3. เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของการผสมกันระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอไมด์ (ไนลอน 6) ที่อัตราส่วนผสม 5:95, 10:90 และ 20:80

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. ได้สูตรผสมของพลาสติกผสมระหว่างไนลอน 6 และยางธรรมชาติ เพื่อใช้ในการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง ซึ่งเป็นประโยชน์แก่กลุ่มอุตสาหกรรมผู้ผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง
2. สามารถลดต้นทุนการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้
4. สามารถปรับปรุงสมบัติทางด้านการยืดหยุ่น (Flexibility) ของไนลอน 6 ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2

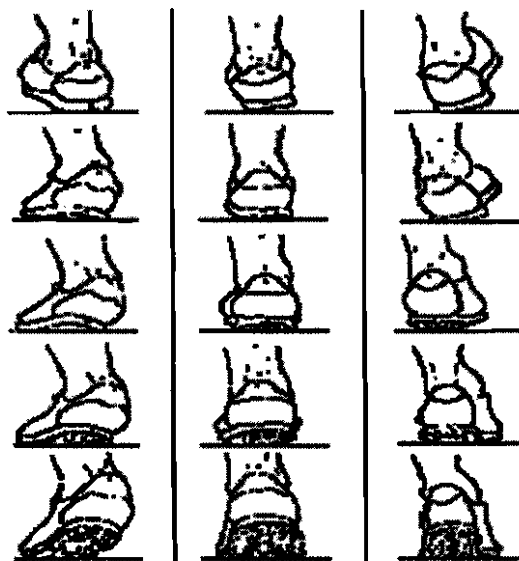
ทฤษฎี

2.1 การพัฒนาพื้นรองเท้ากีฬา [1]

เท้าของมนุษย์จัดเป็นอวัยวะของร่างกายที่ทำงานหนักเป็นพิเศษ เนื่องจากต้องรับน้ำหนักของร่างกายทั้งหมดในขณะที่เรายืนหรือเดิน และต้องรับน้ำหนักมากขึ้นหลายเท่าของน้ำหนักร่างกายในขณะที่เราวิ่งหรือเล่นกีฬาบางประเภท ดังนั้นเท้าจึงมีโอกาสดับเจ็บได้ง่าย เนื่องจากแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในระหว่างการเคลื่อนไหวดังกล่าว การออกแบบรองเท้ากีฬาอย่างถูกต้องจึงมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้ผู้สวมใส่รองเท้ารู้สึกสบาย และช่วยป้องกันการบาดเจ็บของเท้าที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมไปถึงการป้องกันการฉีกขาดสึกหรอของรองเท้าอีกด้วย




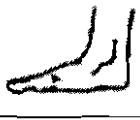



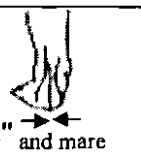
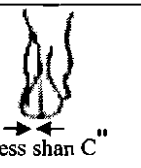
2.1.1 เท้าและการออกแบบรองเท้ากีฬา

เท้าของมนุษย์ประกอบด้วยกระดูก 26 ชิ้นและข้อต่ออีก 30 ข้อ โดยทั้งหมดจะถูกยึดไว้ด้วยเอ็นยึดกระดูก และกล้ามเนื้อ ขณะที่วิ่งหรือออกกำลังกายนั้นคนส่วนใหญ่ประมาณ 80% จะทิ้งน้ำหนักลงบนส้นเท้าก่อนแล้วหมุนไปสู่บริเวณกลางเท้า และจึงผ่านไปส่วนปลายเท้า ดังรูปที่ 2.1 ส่วนที่เหลืออีก 20% จะทิ้งน้ำหนักลงบริเวณส่วนกลางของเท้าซึ่งจะกระทบพื้นโดยตรง



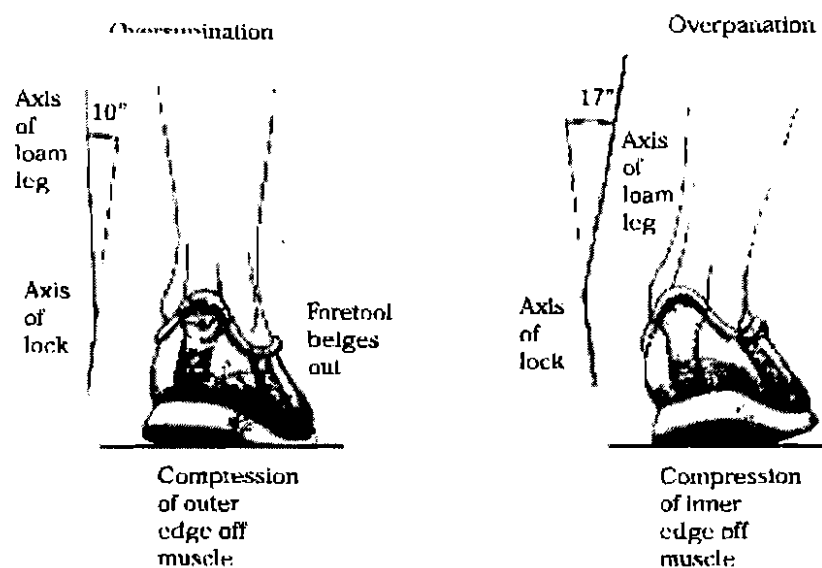
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนไหว (เฉพาะเท้าซ้าย) ของผู้วิ่ง 3 คนแสดงการคว่ำเท้าเกินขนาดในภาพซ้ายสุด และการคว่ำเท้าเล็กน้อยในภาพกลางและภาพขวา [1]

มีปัจจัยหลายอย่างที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบ รองเท้า เช่น น้ำหนัก เพศ โครงสร้าง ของร่างกาย ความเร็วของการวิ่ง ระยะในการวิ่ง และลักษณะท่าทางการวิ่งช่วงเวลาที่เท้ากระทบพื้น ซึ่งนานเพียงแต่ประมาณ 0.2-0.3 วินาที จะมีความสำคัญต่อการออกแบบรองเท้าเป็นอย่างมาก เนื่องจากรองเท้าต้องมีระบบรับแรงกระแทก ทั้งยังต้องช่วยรักษารูปร่างของเท้าในขณะที่เคลื่อนไหวอีกด้วย ในการวิ่งตามปกติ นั้น นักกีฬาจะวิ่งประมาณ 300-400 ก้าวต่อ 1 กิโลเมตร ในแต่ละก้าว นั้น น้ำหนักจะกระแทกที่สันเท้าประมาณ 3-4 เท่าของน้ำหนักร่างกาย วัสดุที่ทำรองเท้าจึงต้องมีความยืดหยุ่นที่ดี นอกจากนั้นเท้าของแต่ละคนนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เช่น เท้าปกติ เท้าแบนราบ หรือเท้าที่มีส่วนโค้งสูง ดังรูปที่ 2.2 ปัจจัยทั้งหมดนี้มีส่วนทำให้โครงสร้างรองเท้าแตกต่างกัน

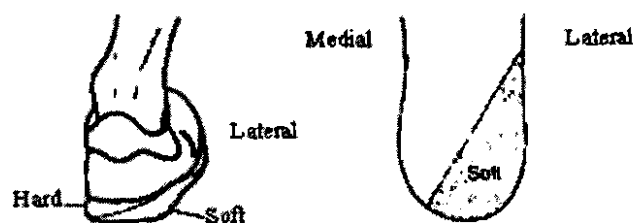
FOOT TYPE	HEIGHT OF LONGITUDINAL ARCH	REARFOOT POSITION	POODSRAM
Normal		 → ← C- G"	
Pes Planes			
Pes Cares			
Pes Valgus		 G" and mare	
Pes Varus		 Less shan C"	

รูปที่ 2.2 รอยพิมพ์ฝ่าเท้าแสดงลักษณะและการบิดเบี้ยวของเท้า [1]

ลักษณะท่าทางการวิ่งก็มีผลต่อโครงสร้างรองเท้า เมื่อผู้วิ่งถ่ายน้ำหนักจากส้นเท้าไปสู่ส่วนกลางของเท้า เรียกว่า การคว่ำเท้า แต่ในบางกรณีที่เท้ามีส่วนโค้งต่ำ การวางเท้าจะผิดไป คือจะหมุนเข้าด้านในมากขึ้นเรียกว่าการคว่ำเท้าเกินขนาด ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะทำให้แรงกดลงบนเท้าเพิ่มมากขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการปวดกระดูกหลายส่วนเช่น กระดูกสะบ้า และกระดูกเชิง เป็นต้น ซึ่งวิธีแก้วิธีหนึ่งก็คือ การออกแบบรองเท้าให้บริเวณพื้นรองเท้าส่วนกลาง มีทั้งส่วนที่นุ่มและส่วนที่แข็ง ดังรูปที่ 2.4 แต่ในกรณีที่ผู้วิ่งมีการเคลื่อนไหวเท้าโดยหมุนส่วนส้นเท้าถึงนิ้วออกด้านนอกมากเกินไปเรียกว่า การพลิกหงายเท้า จะทำให้เท้าส่วนหน้าและรอบนอกของเท้าได้รับแรงกระแทกมากที่สุด ซึ่งอาจทำให้เจ็บปวดบริเวณเอ็นร้อยหวายได้



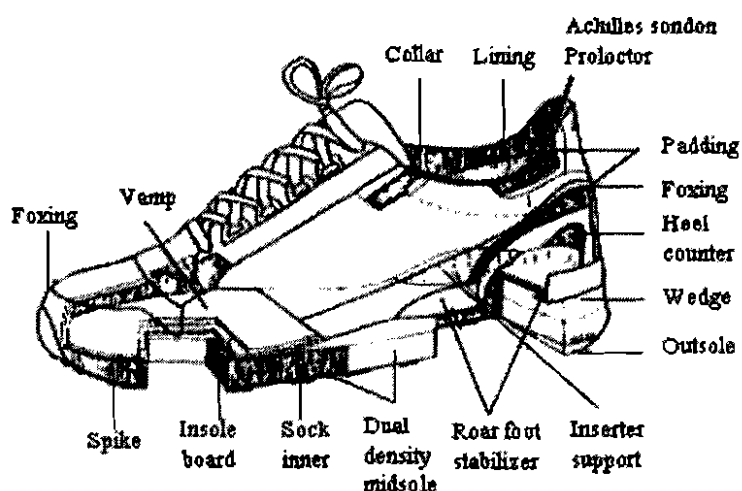
รูปที่ 2.3 การถ่ายน้ำหนักจากส้นเท้าไปยังบริเวณส่วนกลางของเท้า



รูปที่ 2.4 แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหา “การคว่ำเท้า”

2.1.2 กายวิภาคศาสตร์ของรองเท้ากีฬา

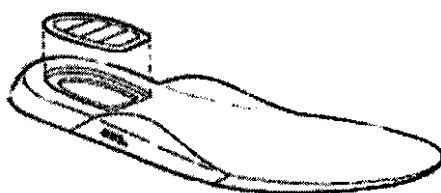
รองเท้าส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบอยู่ประมาณ 15-20 ชิ้น ดังรูปที่ 2.5 แต่ละชิ้นจะให้วัสดุแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม สมบัติของวัสดุที่ต้องนำมาพิจารณา ได้แก่ ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงอัดแรงกระแทกและความต้านทานการสึกกร่อน เป็นต้น ในที่นี้จะพิจารณาเป็น 5 ส่วนหลัก ได้แก่ พื้นรองเท้าส่วนกลาง พื้นรองเท้าด้านนอก พื้นรองเท้าด้านใน ส่วนรองรับส้นเท้า และส่วนบนของรองเท้า



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของรองเท้ากีฬา

ก) พื้นรองเท้าส่วนกลาง (The Midsole) พื้นรองเท้าส่วนกลางนับเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของรองเท้ากีฬา ดังรูปที่ 2.6 บริเวณนี้จะเป็นส่วนที่ถูกแรงอัดแรงค้ำอย่างมากที่สุดๆ ในระหว่างการวิ่ง วัสดุที่ใช้จึงต้องสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี และมีความแข็งแรงสูง ส่วนใหญ่ทำจาก (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) สารประเภทพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย เอทิลีน, ไวนิล และอะซิเตต ส่วนประกอบทั้ง 3 อย่างนี้ทำหน้าที่ต่างกัน เอทิลีนช่วยให้ขึ้นรูปง่าย ไวนิลเพิ่มความสามารถในการคืนตัว ส่วนอะซิเตตเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่น สารทั้งสามนี้เมื่อผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วเทลงแบบแม่พิมพ์จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน จะมีฟองแก๊สเล็กๆ จำนวนมากเหล่านี้จะทำให้ชิ้นงานขยายตัวเต็มแม่พิมพ์

เมื่อใช้ไปนาน ๆ ฟองแก๊สอาจจะแตกทำให้การกันแรงกระแทกลดลง ซึ่งอาจจะแก้ไขได้โดยการทำให้ฟองแก๊สกระจายผิวมากขึ้น หรือโดยการปรับเปลี่ยนความหนาแน่นของ Ethylene Vinyl Acetate นอกจากนี้ยังอาจใช้การทำ Encapsulated Midsoles โดยใช้โพลียูรีเทน (Polyurethane, PU) หุ้มพื้นรองเท้าที่ทำด้วย Ethylene Vinyl Acetate แต่ก็จะมีราคาแพงกว่า Ethylene Vinyl Acetate ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.6 พื้นรองเท้าส่วนกลาง

ข) พื้นรองเท้าด้านนอก (The Outsole) พื้นรองเท้าด้านนอกเป็นส่วนของรองเท้าที่สัมผัสกับพื้นผิวที่วิ่งโดยตรง ดังรูปที่ 2.7 ดังนั้นจึงต้องมีความทนทาน ต่อการสึกกร่อนและเสียดสีที่ดี วัสดุที่นิยมใช้คือ ยางสไตรีน บิวทาไดเอน (Styrene Butadiene) หรือยางที่ทนการเสียดสีมาก ๆ อย่างเช่น Vibram's Infinity ซึ่งเป็นยางไฮเทคที่ใช้ในการทำยางรถแข่ง

ลายพื้นรองเท้า (Treads) อาจมีได้มากมายหลายรูปแบบไม่น้อยไปกว่ารูปแบบรองเท้า ลายพื้นรองเท้าทำหน้าที่ป้องกันการกระแทกและเสียดสี อีกทั้งทำให้รองเท้าเกาะพื้นดีอีกด้วย



รูปที่ 2.7 พื้นรองเท้าด้านนอกและลายพื้นรองเท้า

ค) พื้นรองเท้าด้านใน (The Insole) พื้นรองเท้าด้านในเป็นพอลิเอธิลีน ประกอบด้วย โฟม (Polyethylene, PE) ที่หุ้มด้วยผ้าที่ซ้อนกันเป็นชั้นๆ ดังรูปที่ 2.8 พื้นรองเท้าที่ดีต้องทำให้ผู้ใส่รองเท้ารู้สึกพอดีและสบาย ไม่ให้อึดอัดเป็นแผลพอง และป้องกันการกระแทกในระหว่างการเคลื่อนไหวจากส้นเท้าไปสู่นิ้วเท้า



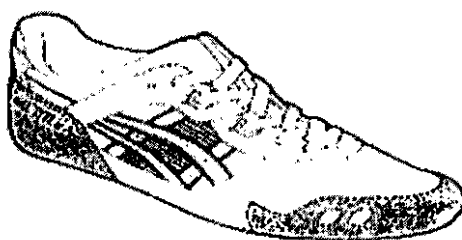
รูปที่ 2.8 พื้นรองเท้าด้านใน

ง) ส่วนรองรับส้นเท้า (The Heel Counter) ส่วนรองรับส้นเท้า ดังรูปที่ 2.9 ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากส้นเท้าเป็นส่วนแรก ในระหว่างการเคลื่อนไหวจากส้นเท้าไปสู่นิ้วเท้า ส่วนนี้จะทำจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและทนต่อแรงอัดหรือแรงกระแทก ได้มีการนำแผ่นเทอร์โมพลาสติก “ส็อคไลต์” ช่วยทำให้รองเท้ามีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการรวมส่วนรองรับส้นเท้านี้เข้ากับพื้นรองเท้าส่วนกลาง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงด้วยก็ได้



รูปที่ 2.9 ส่วนรองรับส้นเท้า

จ) ส่วนบนของรองเท้า (The Upper) วัสดุที่ใช้ทำส่วนบนของรองเท้าจะต้องแข็งแรงและมีน้ำหนักเบา โครงสร้างประกอบด้วย วัสดุ 3 ชั้น ดังรูปที่ 2.10 ได้แก่ โฟม (Polyurethane, PU) ซึ่งด้านนอก แผ่น Nylon Tricot และ Nonwoven Canbrelle แต่เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ไม่มีรูพรุน จึงทำให้การระบายอากาศของเท้าไม่ดีนักอาจมีเหงื่อเกิดขึ้นได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้วัสดุที่เป็นเส้นใยติดกัน เพื่อเชื่อมแผ่นที่ซ้อนกันเป็นชั้นเข้าด้วยกัน วัสดุที่ใช้จะต้องมีความแข็งแรงและสามารถขับเหงื่อให้ออกได้ดี เช่น หนังสังเคราะห์ ส่วนผสมพิเศษระหว่าง Polyurethane และ Polyester หรือ ผ้า Polypropylene เป็นต้น จริง ๆ แล้วในการออกแบบที่ซับซ้อนมากขึ้น เพียงแค่เฉพาะส่วนบนนี้ก็อาจจะประกอบด้วยชั้นส่วนย่อยได้ถึง 20 ชั้นแล้ว



รูปที่ 2.10 ส่วนบนของรองเท้าและระบบร้อยเชือกผูกกรองเท้า

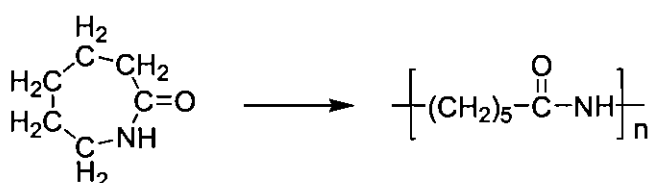
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1 ไนลอน (Nylon)

ไนลอนเป็นชื่อสามัญของพอลิเมอร์สังเคราะห์จำพวกพอลิเอไมด์เชิงเส้นตรงที่มีความเป็นผลึกสูง ไนลอนที่ผลิตขึ้นเกือบทั้งหมดนำไปใช้งานเป็นเส้นใยสังเคราะห์แทนเส้นใยจำพวกพอลิเอไมด์หรือโปรตีนในธรรมชาติ เช่น ขนสัตว์ และเส้นด้ายไหม นอกจากนี้แล้วยังใช้ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีความแข็งแรง เช่น เฟืองเกียร์ คอร์ดไนลอน (Nylon cord) ของยางรถยนต์ เป็นต้น

ความพยายามสังเคราะห์เส้นใยสังเคราะห์ประเภทพอลิเอไมด์และพอลิเอสเตอร์ เริ่มขึ้นพร้อมกันด้วยการวิจัยพื้นฐานในปี ค.ศ. 1929 โดยเคโรเทอร์ส (Carothers) นักเคมีชาวอเมริกัน ณ ห้องวิจัยของบริษัทดูปองต์ (ชื่อเต็มของบริษัทนี้คือ I.I. duPont de Nemours and Co.) ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา เคโรเทอร์สได้พยายามสังเคราะห์และศึกษาสมบัติของพอลิเอไมด์และพอลิเอสเตอร์หลายชนิดควบคู่กันไป พบว่าในบรรดาพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นในขณะนั้น ไนลอน 6, 6 มีสมบัติที่ดีและมีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะนำไปผลิตในเชิงการค้า จึงได้มุ่งพัฒนาพอลิเมอร์นี้จนถึงขั้นผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ในปี ค.ศ. 1938 ผลิตภัณฑ์แรกที่ทำจากไนลอน 6, 6 คือ ถู่น่องไนลอน ซึ่งวางตลาดเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 และได้รับการเผยแพร่อย่างกว้างในสหรัฐอเมริกา ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 เล็กน้อยคือ ปี ค.ศ. 1940

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไนลอน 6, 6 ได้รับความนิยมตั้งแต่เริ่มผลิตมาตลอดจนกระทั่งถึงปัจจุบัน จากความสำเร็จ ได้มีการค้นคว้าวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการอื่น ๆ ทั่วโลก เพื่อสังเคราะห์และพัฒนาพอลิเอไมด์อื่น ๆ เพื่อแข่งขันกับไนลอน 6, 6 ซึ่งก็ได้ประสบผลสำเร็จเช่นกัน คือ การสังเคราะห์และพัฒนาไนลอน 6 จนสามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์วางตลาดได้ในปี ค.ศ. 1940 บริษัทที่วางตลาดผลิตภัณฑ์ไนลอน 6 คือบริษัท I.G Farbe industrie ของเยอรมัน ในปัจจุบันนี้ผลิตภัณฑ์เส้นใยสังเคราะห์จำพวกไนลอนที่มีวางตลาดกันทั่วไปเกือบทั้งหมดเป็นเส้นใยไนลอน 6, 6 และไนลอน 6 ในปี ค.ศ. 1974 ทั่วโลกผลิตไนลอนทั้งหมด 5.7×10^9 ปอนด์ ซึ่งในจำนวนนี้ประมาณ 2.0×10^9 ปอนด์ ผลิตในสหรัฐอเมริกา ไนลอนที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาเป็นไนลอน 6, 6 ประมาณ 70%, ไนลอน 6 ประมาณ 30% ส่วนไนลอนที่ผลิตในประเทศอื่น ๆ ทั่วโลก 38% เป็นไนลอน 6, 6 และ 62% เป็นไนลอน 6 ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของไนลอน 6

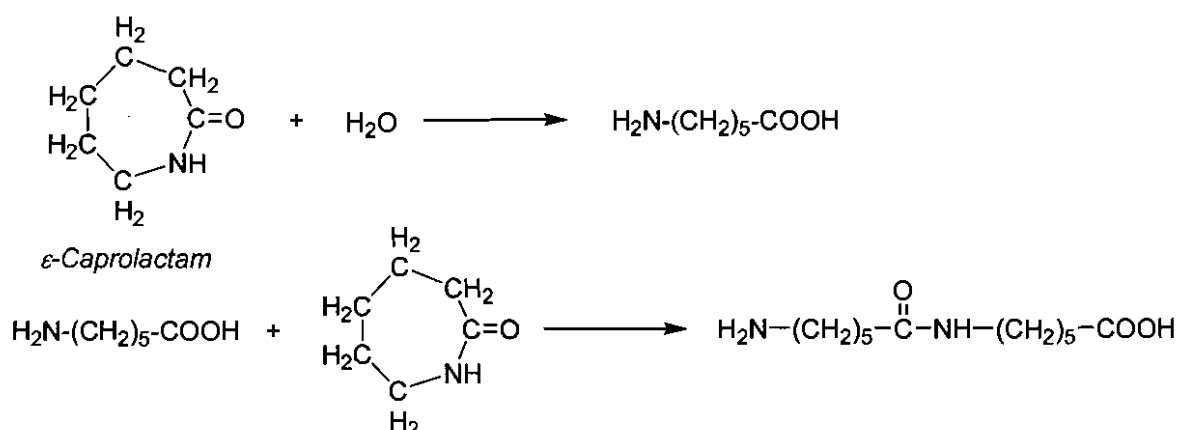
ไนลอนอาจเกิดจากโมโนเมอร์ที่เป็นวงแหวน ได้แก่ สารพวกลาโปรแลกแทม (Caprolactam) ซึ่งปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันและแบบเปิดวงแหวนลาโปรแลกแทม หรือจากไดอะมีนและไดเบซิอะไซด์ โดยโพลิเมอไรเซชันแบบขั้นหรือแบบควบแน่น การเรียกชื่อไนลอนในกรณีที่มีเลขเพียงเลขเดียว เช่น ไนลอน 6, ไนลอน 10 หมายถึง หน่วยที่ซ้ำ ๆ กันของพอลิเอไมด์ประกอบด้วยโซ่คาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 6 และ 10 ตามลำดับ หรือพอลิเอไมด์เกิดจากโมโนเมอร์ที่มีจำนวนคาร์บอนทั้งหมด 6 หรือ 10 ตามลำดับ ในกรณีที่มีเลขสองเลข เช่น ไนลอน 6, 6 เลขตัวแรกหมายถึงหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันประกอบด้วยหน่วยที่มาจากไดอะมีนที่มีจำนวนคาร์บอน 6 ตัว ส่วนเลขตัวหลัง หมายถึง หน่วยที่ซ้ำ ๆ กันมาจากกรดไดเบซิอะไซด์ที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากับ 6 ตัว หรือไนลอน 6, 6 เตรียมมาจากไดอะมีนที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากับ 6 และไดเบซิอะไซด์ที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากับ 6 เช่นกัน ในทำนองเดียวกันไนลอน 6, 10 หมายถึง พอลิเอไมด์ที่เตรียมมาจากไดอะมีนที่มีจำนวนคาร์บอน 6 ตัว และไดเบซิอะไซด์ที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากับ 10 ตัว เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงพอลิเมอร์ผสมที่มีพอลิเมอร์ผสมที่มีไนลอน 6 เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจะได้กล่าวถึงไนลอน 6 ในหัวข้อต่อไป

2.2.1.1 ไนลอน 6

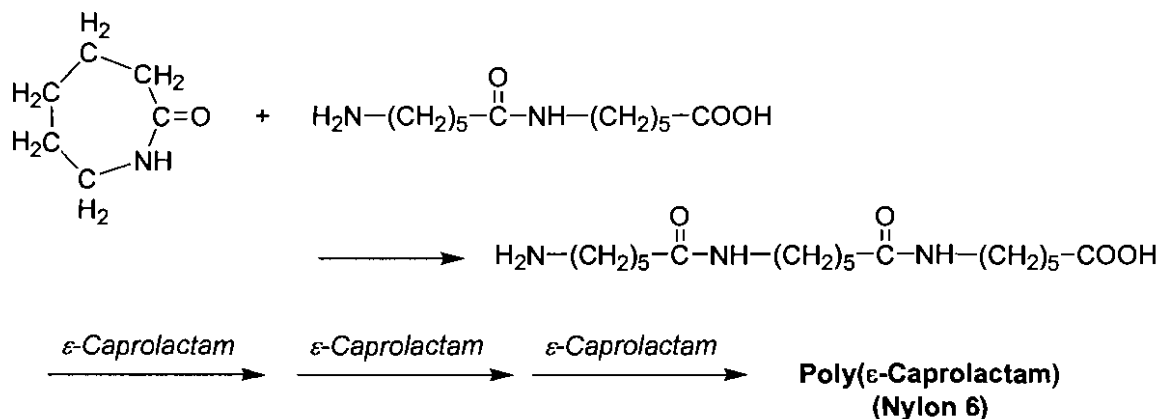
พอลิเมอร์นี้เตรียมจากลาโปรแลกแทมซึ่งกระบวนการที่ใช้อาจเป็นแบบแบบซหรือแบบต่อเนื่องก็ได้ ในกระบวนการแบบแบบซให้ลาโปรแลกแทมผสมกับน้ำประมาณ 5-10% โดยน้ำหนักและกรดอะซิติก (ประมาณ 0.1% โดยน้ำหนัก) โดยบรรจุของผสมนี้เข้าไปยังรีเอกเตอร์ที่เป็นบรรยากาศของไนโตรเจน (เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีของพอลิเมอร์ที่ได้เนื่องจากออกซิไดซ์โดยออกซิเจน) แล้วให้ความร้อนประมาณ 250 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ระหว่างการอบให้รักษาความดันคงที่ที่ 15 บรรยากาศ โดยการปล่อยไอน้ำออกมาเป็นระยะ ๆ หลังจากนั้นก็ดันเอาพอลิเมอร์ที่ยังคงอยู่ในสถานะหลอมตัวออกในรูปของเส้นริบบอน (ribbon) ทำให้เย็นลงโดยผ่านน้ำเย็นแล้วตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ พอลิเมอร์ที่ได้จะมีสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโมโนเมอร์เจือปนอยู่ประมาณ 10% สารเจือปนเหล่านี้สามารถขจัดออกไปได้โดยการล้างด้วยน้ำร้อน (80 °C) มาก ๆ หรือไม่ก็ให้ความร้อนที่ประมาณ 180 °C ที่ความดัน 0.05 บรรยากาศ ภายใต้ภาวะเช่นนี้สารเจือปนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำส่วนใหญ่จะถูกกลั่นออกไปได้

กลไกของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันโดยมีน้ำเป็นตัวริเริ่มเป็นดังนี้

ขั้น Initiation



ขั้น Propagation



นอกจากนี้แล้ว ขั้นโพรพาเกชันยังอาจเกิดปฏิกิริยาแทรก (Side reaction) คือ การควบแน่นระหว่างหมู่เอมีนและหมู่คาร์บอนซิลที่อยู่ปลายโซ่ได้ด้วยดังนี้



ได้มีการพัฒนาเทคนิคที่ใหม่กว่าเทคนิคหนึ่งเพื่อเตรียมไนลอน 6 ในรูปของบัลค์ โดยให้ปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันเกิดในแบบ (mold) ชนิด in situ ปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันสามารถทำให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ตัวริเริ่มหรืออินิทีเอเตอร์แบบแอนไอออนิก

2.2.1.2 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ของไนลอน 6

สมบัติของไนลอน 6 ที่เด่นๆ คือ ทนต่อแรงกระทบสูง เหนียว ยืดหยุ่นได้ และมีความต้านทานการขีดข่วนดี ดังตารางที่ 2.1 ในด้านสมบัติเชิงกลจะขึ้นอยู่กับความสามารถเป็นผลึกมากน้อยเพียงใด โครงสร้างที่แตกต่างกันในสายโซ่อะลิฟาติก ซึ่งจะทำให้หมู่เอไมด์สร้างพันธะไฮโดรเจนได้ไม่เท่ากัน และจะมีผลต่อคิกรีของความเป็นผลึก เนื่องจากไนลอน 6 มีการทนต่อแรงดึงสูง จึงนำไปใช้เป็นเส้นใยทำเสื้อผ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยการรีดจะนำไปทำเป็นสายเคเบิล ท่อส่งน้ำมัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉีดและหล่อ ใช้เป็นพวกเกียร์ แบร็ง บูช ซึ่งต้องรับน้ำหนักและแรงเสียดทานสูง คุณสมบัติในการดูดซึมน้ำจะเห็นว่าไนลอน 6 ดูดซึมน้ำดีทำเป็นถุงเท้า เสือกั๊มได้ดี

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของไนลอน 6

ความถ่วงจำเพาะ	1.13
จุดหลอมผลึก (°C)	215
Tensile strength (lb/in ²)	11,000
Elongation at break (%)	100-200
Impact strength (ft lb/1/2 in notch)	1.5-3.0
Heat distortion temperature (264 lb/in ²) (°C)	60
การดูดกลืนน้ำที่จุดอิ่มตัว (%)	9.0

2.2.2 สมบัติที่สำคัญของยาง

ฟลอรี ผู้แต่งหนังสือเรื่อง Principles of Polymer Chemistry ได้ให้ความหมายที่แสดงคุณลักษณะที่สำคัญที่สุด 2 ประการ อันเป็นเอกลักษณ์ของยางเอาไว้ในหนังสือเล่มหนึ่งว่า ยางเป็นวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปได้มาก โดยไม่ถูกทำลายหรือฉีกขาด จึงมีสมบัติด้านความหนืด เหมือนกับว่ามันเป็นของเหลว ในขณะที่เดียวกันก็มีความสามารถในการคืนตัวสู่ขนาดเดิมได้ในทันที เมื่อแรงเค้นหยุดกระทำ ทำให้ยางมีสมบัติของของแข็ง คือมีความยืดหยุ่น เมื่อรวมสมบัติทั้ง 2 ด้านนี้เข้าด้วยกัน เราจึงมักเรียกว่า ยางเป็นวัสดุวิสโคอีลาสติก (viscoelastic material) นั่นเอง นอกจากนี้ยางยังมีสมบัติเด่นอื่น ๆ อีกหลายประการพอสรุปได้ดังนี้คือ

1. เป็นวัตถุที่สามารถปรับปรุงให้มีสมบัติทางการใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางโดยการเติมสารเคมี เช่น กำมะถัน สารตัวเร่ง หรือสารเสริมแรง แล้วทำให้คงรูปด้วยความร้อน
2. เป็นวัตถุที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก
3. สามารถหยุ่นตัวรับน้ำหนักได้สูงมาก
4. มีความสามารถต้านทานการสึกหรอ (Abrasion resistance) และต้านทานการฉีกขาด (Tear resistance) ได้ดี
5. มีความอ่อนนุ่มในภาวะปกติ แต่แข็งแรงมากเมื่ออยู่ในภาวะยืดหรือหดตัวเต็มที่
6. มีความสามารถป้องกันการซึมผ่านของของเหลวและแก๊สได้ดี จึงใช้เก็บบรรจุหรือกั้นของเหลวและแก๊สได้เป็นอย่างดี
7. เป็นตัวประสานหรือกาว (Adhesives)
8. มีความทนทานต่อการละลายหรือกัดกร่อนของสารเคมี
9. มีสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง จึงเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

จะเห็นว่าสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างเหล่านี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปยาง และเกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยาง ดังจะได้นำมาพิจารณาและยกเป็นตัวอย่างให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้นต่อไป

2.2.2.1 ความสามารถปรับสมบัติของยางโดยการผสมสารเคมี

กระบวนการแปรรูปยาง เป็นวิธีนำยางดิบมาผสมสารตัวเติมต่าง ๆ เรียกว่าสูตรยาง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ยางที่ได้นี้เรียกว่ายางผสมสารเคมีแล้ว จึงนำยางนี้ไปขึ้นรูปและทำให้คงรูปโดยกระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanize) เป็นผลิตภัณฑ์ยางที่สามารถนำไปใช้งานได้ กระบวนการโดยสรุปดังต่อไปนี้ เราสามารถออกแบบให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติ ทางกายภาพและสมบัติอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ตามข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ยกตัวอย่าง เช่น ยางบริสุทธิ์ที่ไม่มีสารตัวเติมผสมอยู่เลย นำมาผสมกับกำมะถันประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักยาง แล้วนำไปวัลคาไนซ์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 ถึง 140 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่เหมาะสม คำนึงจะได้ยางยืดที่มีความยืดหยุ่นสูง อ่อนนุ่ม สามารถยืดตัวได้ 5 ถึง 9 เท่า ของความยาวเดิม และหาค่ากลับสู่ขนาดเดิมได้ทันที เป็นยางที่มีความทนแรงดึงสูงถึง 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่เมื่อเติมกำมะถันในเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้น เช่น ใส่กำมะถันถึงร้อยละ 25 เมื่อวัลคาไนซ์แล้วจะได้ยางแข็ง และเหนียว มีความทนแรงดึงสูงเหมือนของแข็งทั่วไปคือความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นต้น

นอกจากการเติมผงกำมะถันซึ่งมีความจำเป็นในการทำให้อย่างคงรูปดังกล่าวแล้ว ถ้าผสมเขม่าดำ (Carbon black) เพิ่มเข้าไปอีกชนิดหนึ่ง เมื่อนำไปวัลคาไนซ์แล้วสมบัติด้านความแข็งแรงของยางก็จะเปลี่ยนแปลงไป

จะเห็นว่าถึงแม้ยางดิบจะมีความแข็งแรงต่ำ (นอกเหนือจากการไม่คงรูป เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก ๆ) แต่เมื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติโดยการวัลคาไนซ์ (ใส่กำมะถันแล้วอบด้วยความร้อน) และการเติมเขม่าดำสมบัติเชิงกลของยางจะเปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้นได้อย่างมากมาย ขนาดของยางเปลี่ยนทำนองนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของสารตัวเติมที่ใช้ จะพบว่ายางวัลคาไนซ์ที่ไม่ผสมเขม่าดำจะยืดหยุ่นดีมากถึง 85% เมื่อผสมเขม่าดำเข้าไปยางจะยืดหยุ่นน้อยลง (เหลือ 65%) แต่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (นอกเหนือจากการเพิ่มปริมาตร และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์) กรณีเราจะจัดว่าเขม่าดำเป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรงของยาง ดังจะเห็นได้จากการทำยางรถยนต์ ดังนั้นอุตสาหกรรมยางจึงเป็นกระบวนการที่นำยางดิบ ที่อยู่ในรูปของยางแผ่น ยางแท่ง หรือน้ำยางข้นมาผสมสารเคมีต่าง ๆ ที่เมื่อขึ้นรูปและทำให้เกิดการวัลคาไนซ์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ใช้งานที่มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมนั่นเอง ไม่ว่าผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จะเป็นยางรัดยางพื้นรองเท้า หรือยางรถยนต์ก็ตาม

2.2.2.2 สมบัติด้านการยืดหยุ่นของยาง

การยืดหยุ่นจัดเป็นสมบัติเชิงกลที่สำคัญที่สุดและเป็นที่รู้จักกันดีที่สุดของยาง ยางดิบมีสมบัติเป็นวัสดุประเภทวิสโคอิลาสติคที่อ่อนตัวไม่คงรูปในการใช้งาน เพราะเกิดการไหลของโมเลกุลขึ้นได้เมื่อถูกแรงกระทำเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติที่ด้อยข้อนี้ของยางดิบกลับกลายเป็นข้อดีในกระบวนการแปรรูปยาง เพราะช่วยให้สามารถนำสารอื่น ๆ ที่เรียกว่าสารเคมีหรือสารตัวเติมมาผสมเข้าไปในเนื้อยางได้โดยง่าย วิธีการนี้เรียกว่า การบดหรือการนวดยาง (Mastication) ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้โมเลกุลของยางมีขนาดเล็กลงโดยความร้อน และงานกล จะได้อย่างที่อยู่ในสถานะพลาสติก (Plastic state) ที่อ่อนนุ่มยืดและไหลได้ สามารถหลอมรีดหรืออัดให้เป็นรูปร่างอย่างใด ๆ ก็ได้ตามต้องการ แล้วจึงนำไปวัลคาไนซ์ ยางจะคงรูปเป็นวัตถุยืดหยุ่นที่คงรูปเกือบสมบูรณ์ มีคุณลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง คือสามารถยืดตัว หดตัว บิดเบี้ยวหรือโค้งงอได้อย่างมากและรวดเร็วเมื่อถูกแรงกระทำ เช่นอาจยืดตัวได้สูงถึง 500 ถึง 1000% เมื่อเปรียบเทียบกับการยืดตัวของเหล็กกล้าที่มีเพียง 0.5% เท่านั้น ตัวอย่างเช่นลวดเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ต้องออกแรงถึง 1,600 นิวตัน (ประมาณ 163 กิโลกรัม) เพื่อดึงให้ยืดตัว 1 เปอร์เซ็นต์ แต่ยางขนาดเท่ากันต้องการแรงดึงเพียง 0.001 นิวตันเท่านั้น คุณสมบัตินี้ทำให้ของใช้หรือชิ้นส่วนที่ทำจากยางไม่ถูกทำลายเมื่อนำมาใช้งานที่มีแรงกระทำ
2. มีโมดูลัสสูง และมีความแข็งตัวสูง (High Stiffness) เมื่อยืดหรือหดตัวเต็มที่
3. สามารถคืนตัวได้อย่างรวดเร็วมาก ซึ่งแสดงคุณสมบัติด้านการรีดตัวและการกระเด็น (Rebound) ของยาง ทำให้ง่ายเป็นวัตถุที่เป็นสปริงอยู่ในตัว
4. สามารถกลับสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้เกือบสมบูรณ์เมื่อแรงภายนอกหยุดกระทำดังนั้นยางจึงเป็นวัตถุที่เสียรูปคำทำให้มีความเหมาะสมในการใช้งานที่มีภาระกระทำอย่างสม่ำเสมอ

จากสมบัติด้านการยืดหยุ่นที่สำคัญทั้ง 4 ประการดังกล่าว การใช้งานของผลิตภัณฑ์จากยางจึงอาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

ก. ใช้เพื่อรับภาระบรรทุกอันได้แก่การรับแรง หรือน้ำหนักทั้งแรงดึง แรงอัด หรือแรงเฉือน เพราะผลิตภัณฑ์ยางยืดหยุ่นตัวรับน้ำหนักได้มากและสามารถกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้ทันทีเมื่อไม่มีการกระทำโดยไม่แตกหัก หรือฉีกขาด

ข. ใช้เพื่อการรับงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ ที่แรงกระทำแปรค่าอยู่ตลอดเวลา เช่น ในส่วนของระบบการเคลื่อนที่ที่มีการยืดหดกลับไปกลับมา ทำให้อุปกรณ์ประกอบนั้นจะต้องมีความสามารถที่จะเปลี่ยนรูปร่างไปตามไปด้วยอยู่ตลอดเวลาด้วยความถี่ที่ไม่สูงจนเกินไป การเปลี่ยนรูปในลักษณะเช่นนี้อาจเป็นการยืดหรือหดตัว หรือเป็นการบิดหรือการโค้งงอ เช่นหน้าที่ยางแก้มยางล้อรถ ยางแท่นเครื่อง ยางข้อต่อ เบาะหรือสปริงยาง เป็นต้น ด้วยสมบัติด้านการยืดหยุ่นที่มีลักษณะดีเป็นพิเศษนี้เอง ผลิตภัณฑ์ยางจึงถูกผลิตขึ้นเพื่อรับแรงความเค้น และความเครียด ทั้งที่เป็นแบบอยู่กับที่ (Static load) และที่เป็น

แบบเคลื่อนที่ (Dynamic load) เพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากการสั่นสะเทือน หรือเนื่องจากแรงที่มากระทำต่อระบบอุปกรณ์นั้น ๆ

2.2.2.3 สมบัติด้านการรับพลังงานของยาง

นอกจากคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นดังกล่าวมาแล้ว ยางยังแสดงความแข็งแรงทนทานเป็นอย่างมากเมื่อนำไปใช้งานเพื่อรับภาระจากการกระทำของแรงภายนอก กล่าวคือยางเป็นวัสดุที่สามารถรับพลังงานเอาไว้ในตัวได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของยาง เราจะเห็นสมบัติด้านนี้ได้จากการพิจารณาค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy) หรือความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density) ซึ่งเป็นค่าพลังงานจากการยืดหรือหดตัวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของยาง และพบว่ายางเป็นวัสดุที่มีค่าพลังงานจำเพาะสูงมากและสูงกว่าวัตถุอื่น ๆ ทั้งหมดนี้เป็นค่าที่แสดงพลังงานสปริงของยาง (Elastic Spring Energy) แสดงว่ายางเป็นวัตถุที่เป็นสปริงอยู่แล้วโดยธรรมชาติ (เหล็กหรือโลหะมิได้มีความเป็นสปริงโดยธรรมชาติ ต้องนำมาหล่อเป็นขดเสียก่อนจึงจะสามารถรับพลังงานเอาไว้ในตัวได้) เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุใช้งานทางวิศวกรรมอื่น ๆ จะเห็นลักษณะพิเศษของยางได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พลังงานจำเพาะที่เก็บสะสมในตัว of วัตถุ [2]

ชนิดวัตถุ	พลังงานจำเพาะ (ฟุต-ปอนด์/ปอนด์)
เหล็กกล้า	3.07
เหล็กหล่อ	0.37
อะลูมิเนียมรีด	7.56
เหล็กสปริง	95.30
ยางวัลคาไนซ์	14600.0

จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่า พลังงานที่ยางดูดกลืนไว้ในรูปของพลังงานสปริงมีค่าสูงกว่าโลหะหรือสปริงโลหะมากเมื่อเปรียบเทียบกับหนึ่งหน่วยน้ำหนัก หมายความว่า ในงานปฏิบัตินั้น การใช้สปริงยางจะช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลงได้มาก และยังแสดงให้เห็นด้วยว่ายางรับแรงกระทำได้สูงสุดถ้ามันมีน้ำหนักเท่าวัตถุอื่น โดยที่ตัวมันไม่ถูกทำลาย ตัวอย่างที่เห็นการใช้สมบัติด้านนี้ได้แก่ การใช้ยางทำยางรองแท่นเครื่อง (Mounting) ของเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ ยางกันกระแทกชดเชยข้อเหวี่ยงหรือท่าเหวี่ยงเรือ (Dock Fender) ยางข้อต่อคัปปลิง (Coupling) ยางกันชน ยางรองหมอนคอนกรีต ยางหมอนคอสะพาน (Bridge Bearing) เป็นต้น

2.2.2.4 สมบัติด้านความเสียดทานและการทนต่อการสึกหรอ

ยางเป็นวัสดุที่ทนทานต่อการสึกหรอได้ดี เหมาะที่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานที่มีความเสียดทาน เช่น ถ้าใช้หนังเป็นพื้นรองเท้าจะมีอายุใช้งานเพียงประมาณ 3 เดือน ถ้าไม่ตอกเกือกม้ากันสึก แต่ถ้าใช้พื้นยางจะทนทานต่อการสึกได้ดีกว่าพื้นหนังมาก ทำให้อายุการใช้งานนานขึ้น ในขณะเดียวกันที่มีการยืดหยุ่น และการโค้งงอที่ดีที่ช่วยให้พื้นรองเท้านุ่มไม่แข็ง โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มปริมาณเคมีค่าเข้าไ้มากขึ้น ความทนทานต่อการสึกหรอจะดีขึ้น เช่น สูตรยางรถยนต์ ในทางตรงกันข้ามก็สามารถปรับสมบัติให้ยางมีเนื้อนุ่มสึกหรอง่ายขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการเติมสารประเภทฟลักติส (Factice) ลงไปแทนเคมีค่า เช่น การทำยางลบ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้งานด้านการต้านทานการสึกหรอได้ดีก็มีเช่น ยางรถยนต์ และ ยานยนต์อื่น ๆ ยางสายพานรูปตัววี สายพานแบน หรือสายพานมีฟัน และสายพานลำเลียงสิ่งของ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะว่ายางเป็นวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกับผิวโลหะ ทำให้สามารถจับผิวโลหะได้ดี เมื่อบวกกับความยืดหยุ่นจึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมมากในการทำสายพานต่าง ๆ ทำให้รัดล้อและเพลาดได้ดี

2.2.2.5 สมบัติด้านการทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี

ในอุตสาหกรรมเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ที่มีสถานะเป็นกรดเป็นด่าง ซึ่งในบางกรณีก็ไม่สามารถใช้โลหะหรือไม้เป็นภาชนะบรรจุสารเหล่านั้นได้ แต่เราสามารถผลิตสูตรยางที่ทนกรดได้ ภาชนะบรรจุสารเคมีในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการเคลือบ หรือบุ (Lining) ด้วยยางทนสารเคมีเสียก่อน เช่น การเคลือบถัง (Tank lining) หรือเคลือบท่อ (Tube lining) เพื่อใช้เป็นท่อส่งสารเคมี อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวทนกรด อาจเป็นวัสดุประเภทอื่นที่มีใช้อย่างก็ได้ แต่การใช้ยางจะมีความเหมาะสมกับงานที่ภาชนะหรือท่อมีการขยายตัวหดตัว หรือมีการ โค้งงอเพราะยางมีความยืดหยุ่นดี

2.2.2.6 สมบัติด้านอื่นของยางในการใช้งาน

สมบัติที่สำคัญอื่น ๆ ที่สมควรกล่าวถึงนอกเหนือจากที่ได้พิจารณามาแล้ว ก็ได้แก่ สมบัติด้านการเก็บรักษาอากาศหรือของเหลวได้ เป็นต้น

ในด้านการเป็นตัวประสานนั้น ได้แก่ การนำยางมาทำเป็นกาวยาง เช่น กาวยางของจดหมาย กาวติดกล่องกระดาษ กาวรองเท้า กาวปะยาง หรือการใช้ทำผ้าไม่ทอคือ ผ้าอัดยาง ใช้อัดทำยางพื้นพรมปูพื้น และการใช้ผสมกับเม็ดสีทำสี เป็นต้น

ในด้านการเป็นฉนวนไฟฟ้านั้น เป็นการใช้งานตามสมบัติทางไฟฟ้าของยางที่มีสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงถึง 10^{17} โอห์ม-ซม มีค่าความทนไดอิเล็กตริก (Dielectric strength) สูงถึง 4-22 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร สามารถใช้หุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าได้ดี โดยเฉพาะสายที่มีความต้องการการโค้งงอมาก

ในด้านการเก็บรักษาของเหลวและแก๊สเป็นการใช้คุณสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของโมเลกุลของเหลวและแก๊สได้ดี เช่น ใช้ทำไส้ปากกาหมึกซึม ใช้อบผ้าใบบอลูน อาบใบเรือ แผ่นยางบุอ่างเก็บน้ำ ยางในรถต่าง ๆ ยางท่อลม ยางท่อน้ำ ท่อดับเพลิงและใช้ทำลูกโป่ง เป็นต้น

2.2.2.7 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

พืชที่ให้ยางธรรมชาติเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่เรียกว่า ต้นยางพารา มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า ฮีเวียบราซิลเลียน (Hevea Brasiliensis) ซึ่งแต่เดิมมีอยู่เฉพาะในทวีปอเมริกาใต้เท่านั้น และได้มีผู้นำมาปลูกในทวีปเอเชียและแอฟริกา ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจะเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของต้นยางพารา เช่น ในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตยางธรรมชาติได้มากกว่า 90% ของยางธรรมชาติที่ใช้ในโลกที่เหลือได้มาจากแถบแอฟริกากลาง สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกยางพาราได้งอกงามดีทางภาคใต้และภาคตะวันออก

เมื่อต้นยางโตเต็มที่แล้วชาวสวนจะเก็บน้ำยางโดยการกรีดเปลือกของลำต้น (Tapping) ให้น้ำยางไหลซึมออกมา น้ำยางที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน มีกลิ่นหอมเล็กน้อยประกอบด้วยอนุภาคยางเล็ก ๆ แฉวนลอยอยู่ในน้ำในลักษณะอิมัลชัน (Emulsion) มีเนื้อของแข็ง 30-40% ขึ้นกับพันธุ์ของต้นยาง อายุของต้นยาง และฤดูกาล

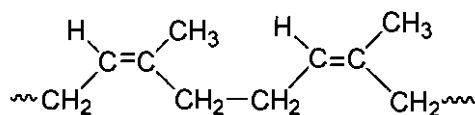
การแปรรูปน้ำยางให้เป็นยางดิบมีหลายลักษณะต่าง ๆ กัน คืออยู่ในรูปของน้ำยางข้น (Concentrated Latex) หรือยางดิบแห้งชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air-Dried Sheet, ADS) ยางเครพขาว (Crepes) หรือยางแท่ง (Blockrubber) เป็นต้น เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบป้อนโรงงานผลิตภัณฑ์ยางประเภทต่าง ๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ที่นอนฟองน้ำ และรองเท้ายาง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากยางมีสมบัติพิเศษแตกต่างจากวัสดุอื่น ๆ คือ มีความยืดหยุ่นดี นอกจากนี้ยังมีเนื้อที่บดสามารถกันน้ำและอากาศไม่ให้ผ่านได้โดยง่าย อีกทั้งไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังนั้นยางจึงเป็นวัสดุที่มีประโยชน์และมีคุณค่ามาก

ยางธรรมชาติเป็นยางที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตวัตถุสำเร็จรูปทั่วไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษ เช่น การทนต่อน้ำมัน หรือทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการผลิตยางสังเคราะห์ขึ้นหลายชนิด แต่ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเพื่อผลิตวัตถุสำเร็จรูปยางก็ยังคงสูงอยู่

เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ดีมาก มีความสามารถในการกระดอน (Resilience) สูง มีสมบัติเหนียวติดกันเองดีมาก การเกิดความร้อนสะสมต่ำ และมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของแก๊สดี

2.2.2.8 องค์ประกอบทางเคมีของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า โพลีไอโซพรีน (Polyisoprene, $(C_5H_8)_n$) ซึ่งได้จากหน่วยของไอโซพรีนต่อกันแบบหัวต่อหาง (Head to Tail) ลักษณะเป็น cis - configuration ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [1]

ส่วนยางธรรมชาติชนิดอื่น ๆ เช่น ยางฮีเวีย (Hevea Rubber) มีโครงสร้างเป็น Trans 1, 4 Polyisoprene ยางกัตตาเปอ์ชา (Gutta-percha) และยางบาลาตา (Balata) มีโครงสร้างเป็น Trans 1, 4 Polyisoprene (Trans 1, 4 Polyisoprene) ซึ่งต้นกัตตามีอยู่ในประเทศมาเลเซีย ส่วนบาลาตามีอยู่บริเวณชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ และในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งไม่ค่อยมีความสำคัญในทางการค้ามากนักมีการใช้งานน้อยแต่เดิมใช้ทำฉนวนหุ้มสายเคเบิลใต้น้ำ ปัจจุบันใช้ทำที่หุ้มลูกกอล์ฟและกาวพิเศษบางชนิดเท่านั้น ทั้งนี้เพราะน้ำยางเกิดการแข็งตัวได้เร็วมากในอากาศ

2.2.2.9 ประเภทของยางธรรมชาติ

ก) น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex)

น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนมมีกลิ่นหอมเล็กน้อย ความหนาแน่นประมาณ 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิกรัม มีค่า pH 6.5 – 7.0 น้ำยางจะมีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันแขวนลอยหรือกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (Disperse Medium) โดยอนุภาคเหล่านี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 5 ไมครอน และมีประจุเป็นลบซึ่งผลึกกันตลอดเวลาจึงทำให้อนุภาคเหล่านี้สามารถแขวนลอย และคงสภาพเป็นยางเหลวอยู่ได้นานจนกว่าจะมีภาวะแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ มารบกวนจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

น้ำยางมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (Colloid) ชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Hydrosol) แต่มีลักษณะพิเศษ คือ น้ำยางมีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ลักษณะที่ไม่ชอบน้ำจะเด่นชัดกว่า นอกจากนี้ น้ำยางยังประกอบไปด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยาง ได้แก่ สารพวกโปรตีนและกรดอะมิโน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และอนุมูลของโลหะ เป็นต้น

ข) ยางดิบแห้งชนิดต่าง ๆ

1) ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS)

ประเทศไทยสามารถผลิตยางแผ่นรมควันได้ประมาณ 80% ของยางดิบที่ผลิตได้ทั้งหมดส่วนใหญ่ได้จากสวนยางขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้การแปรรูปน้ำยางสดเหล่านี้ให้เป็นยางแผ่นดิบไม่รมควัน (Unsmoked Sheet) โดยนำยางแผ่นดิบที่ได้มาผึ่งทำให้แผ่นยางที่ได้มีความชื้นลดลง สำหรับการจัดชั้น

ของยางนั้นจะดูด้วยสายตา โดยพิจารณาจาก ขนาด รูปร่าง ความหนา สี เชื้อรา บนแผ่นยาง ความสม่ำเสมอของตำหนิจากการรมควัน ความชื้น สิ่งแปลกปลอม เป็นต้น

การจัดชั้นคุณภาพของยางแผ่นรมควันสามารถแบ่ง ได้เป็นชั้นต่าง ๆ ดังนี้คือ

- ยางแผ่นรมควันชั้น 1 พิเศษ

เป็นยางแผ่นรมควันที่มีการควบคุมการผลิตอย่างเข้มงวด ก้อนยางแต่ละก้อนต้องไม่ขึ้นรา ไม่ปรากฏจุดหรือร่องรอยของยางถูกรมควันมากเกินไป แผ่นยางต้องแห้งดี สะอาดรมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากฟองอากาศ สิ่งสกปรก ตลอดจนสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ

- ยางแผ่นรมควันชั้น 1

ก้อนยางแต่ละก้อนต้องไม่ขึ้นรา ไม่ปรากฏจุดหรือร่องรอยของยางถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไป ยางต้องแห้งดี สะอาด รมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากฟองอากาศ สิ่งสกปรก ตลอดจนสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ

- ยางแผ่นรมควันชั้น 2

ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 5% แผ่นยางมีฟองอากาศบ้าง แต่ปราศจากร่องรอยของการถูกรมควันไม่สม่ำเสมอ ยางต้องแห้งดี สะอาด ไม่มีจุดต่างของสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอม

- ยางแผ่นรมควันชั้น 3

ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 10% แผ่นยางมีจุดต่างและฟองอากาศบ้าง แต่ต้องไม่มีร่องรอยของยางถูกรมควันไม่สม่ำเสมอ ยางต้องแห้งดี สะอาด ไม่มีสิ่งแปลกปลอม

- ยางแผ่นรมควันชั้น 4

ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 20% แผ่นยางมีจุดต่าง ฟองอากาศ และร่องรอยการรมควันไม่ถูกต้องปานกลาง ยางต้องแห้งดี ไม่มีสิ่งแปลกปลอม

- ยางแผ่นรมควันชั้น 5

ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 30% แผ่นยางมีจุดต่าง ฟองอากาศ และร่องรอยการรมควันไม่มีขนาดใหญ่

2) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air – Dried Sheet, ADS)

หนังสือมาตรฐานสากลว่าด้วยการจัดชั้นคุณภาพและการห่ออย่างธรรมชาติ (International Standards of Quality and Packing for natural Grade The Green Book) หมายถึง “แผ่นยางที่มีสีใส ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับยางแผ่นรมควันทุกประการเพียงแต่จะต้องมีการควบคุมแต่ละขั้นตอนอย่างพิถีพิถัน และทำให้แห้งโดยไม่ต้องรมควัน” และต้องไม่มีการเติมสารอื่นนอกเหนือไปจากสารที่ได้รับ

การยวกัน เช่น สารฟอกสีโซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium bi-Sulphite) และสารกันเชื้อราพาราไนโตรฟีนอล (P-Nitrophenol, PNP)

3) ยางเครพ (Crepes) ยางเครพที่ผลิตโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 พวก คือ

ก. ยางเครพที่ผลิตจากน้ำยางสด ได้แก่ ยางเครพขาว และยางเครพสีจางเป็นยางที่ไม่มีสารสีเหลือง กรรมวิธีผลิตไม่ทำให้น้ำยางมีสีคล้ำหรือมีสีดำ มีการพิจารณาคัดเลือกพันธุ์ยางที่ใช้ในการผลิต น้ำยางที่จับตัวต้องเจือจางให้มีเนื้อยางแห้ง 20% เดิมโซเดียมไบซัลไฟต์ และสารฟอกสี

ข. ยางเครพคุณภาพต่ำ เป็นยางที่นำมาจากยางที่จับตัวแล้ว เช่น เศษยาง ในกระบวนการผลิต ขณะที่ยางผ่านเข้าเครื่องจักรต้องฉีดน้ำยางตลอดเวลา เพื่อชะล้างทำความสะอาดชั้นตอนสุดท้ายจะรีดยางเป็นแผ่นเครพ ผึ่งให้แห้งในโรงผึ่ง

4) ยางแท่ง (Block Rubber)

ยางแท่งเป็นยางที่ทำจากน้ำยางและเศษก้อนยาง โดยทำให้น้ำยางเป็นชั้นเล็ก ๆ แล้วนำมาอบด้วยความร้อนให้แห้งต่อจากนั้นจึงอัดเป็นแท่ง ยางแท่งเป็นยางที่มีการระบุคุณภาพมาตรฐานมีการใช้เครื่องจักรเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต บรรจุหีบห่อทันสมัยสะดวกในการขนส่งและใช้งาน ยางแท่งของประเทศไทยมีชื่อเรียกว่า เอส ที อาร์ (STR, Standard Thai Rubber)

5) ยางskim (Skim Rubber)

ยางskimเป็นผลิตผลจากหางน้ำยาง ซึ่งมีเนื้อยางแห้งอยู่ 3-7% อันเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำยางขึ้นการผลิตยางskimโดยนำหางน้ำยางมาจับตัวยางที่ได้จะมีสารที่ไม่ใช่ยางปะปนอยู่ เช่น โปรตีนซึ่งทำให้น้ำยางมีกลิ่นเหม็น และปฏิกิริยาการทำให้ยางคงรูปเกิดขึ้นเร็ว โดยทั่วไปยางskimจะผลิตจำหน่ายในรูปแบบของยางแท่งและยางเครพ

6) ยางความหนืดคงตัว (Viscosity Stabilized Rubber)

ยางชนิดนี้มีความหนืดต่ำและคงตัว ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการบดยางผสมสารเคมีที่ เรียกว่า การบดยางให้นิ่ม (Mastication) จะทำให้ประหยัดพลังงานในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยที่สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยางไม่เปลี่ยนแปลง ยางพวกนี้มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น

- ยาง CV (Constant Viscosity Rubber) เป็นยางที่มีความหนืดคงที่
- ยาง LV (Low Viscosity Rubber) เป็นยางที่มีความหนืดต่ำ

2.2.2.10 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติจะให้สมบัติเชิงกลสูง เนื่องจากเมื่อถูกยืดออกโมเลกุลจะเรียงตัวเป็นระเบียบทำให้ความต้านทานแรงดึงสูง สมบัติการคืนตัวและการกระดอน (Resilience) สูงกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ การใช้สารเสริมแรง (Reinforcing Filler) เช่น คาร์บอนแบล็ก (Carbon black) จะปรับปรุงสมบัติเชิงกลของ

ยางให้ดีขึ้น ยางธรรมชาติมีจุดอ่อนตัว (Softening Point) ประมาณ 120°C มีความทนทานน้ำกรดเจือจางต่างและเกลือได้ดี แต่กับออกซิเจน โอโซน แสงแดดและแสงอัลตราไวโอเลตทำให้ยางธรรมชาติเกิดรอยแตก หรือเกิดการแตกหักได้ ซึ่งปริมาณโอโซน 100 ppm สามารถทำลายยางได้ภายใน 2 นาที และถ้าจุ่มยางธรรมชาติในกรด เช่น กรดไนตริก กรดซัลฟูริก กรดโครมิก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ จะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ความทนน้ำมันของยางธรรมชาติมีค่าต่ำมาก

ก) การทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบของไอโซพรีนมาต่อเนื่องกันอย่างเป็นระเบียบ มีน้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้ยางแห้งก่อนที่จะใช้งานต้องมีการบด (Masticate) เสียก่อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูง ทำให้ยางธรรมชาติแตกหักได้ง่ายเมื่อยืด ผลึกที่เกิดขึ้นนี้เป็นตัวเสริมความแข็งแรงของยาง ทำให้ยางธรรมชาติแข็งแรงโดยตัวมันเอง ทำให้การออกสูตรยางไม่ต้องใช้ตัวเสริมประสิทธิภาพ เช่น เชม์ดำเข้าช่วย หรือถ้าใส่ก็เลือกชนิดตัวเสริมประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อยปนกับตัวเติมทั่วไป ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นสูงและทนทาน

การออกสูตรยางธรรมชาติโดยไม่ใส่สารตัวเติมใด ๆ จะให้ยางที่มีความสามารถยืดได้สูงและมีโมดูลัสต่ำยืดางได้ง่าย ความสามารถในการยืดสูง 700-800% และความต้านทานต่อการยืด (Tensile Strength) ประมาณ 4000 ปอนด์/ตารางนิ้วได้ คุณสมบัตินี้ของยางธรรมชาติเหนือกว่ายางอื่น ๆ โดยมาก เช่น ยาง SBR หรือ ยาง NRB ซึ่งจะใช้งานไม่ได้เลยถ้าไม่ใช้ตัวเติม เช่น เชม์ดำ หรือซิลิกา เป็นต้น

ข) การทนต่อการฉีกขาด (Tear Strength) เนื่องจากการแตกหักของยางนี้ ทำให้ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการฉีกขาดได้สูงมากโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง เช่น ในการแกะยางธรรมชาติออกจากเบ้าจะมีปัญหาเรื่องยางขาดน้อยมาก ไม่เหมือนกับยาง SBR ที่ฉีกขาดง่ายเมื่อร้อน ข้อนี้เป็นข้อสำคัญที่พบว่าการทำกระเป๋าน้ำร้อนต้องยืดยางออกจากแกนกลางอย่างมากในขณะที่แกะจากเบ้าที่ร้อน กระเป๋าดังกล่าวต้องทำมาจากยางธรรมชาติ

ค) การทนต่อการสึกหรอ (Abrasion Resistance) ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการสึกหรอดีพอใช้ แต่ยังด้อยกว่ายาง SBR เล็กน้อย เช่น ในกรณีที่ทำดอกยางรถโดยสารธรรมดา ซึ่งยางมักจะใช้ยาง SBR หรือ SBR ปนกับ NR ที่จริงแล้วยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการสึกหรอของยางอยู่ในกลุ่ม 1 ซึ่งทนทานต่อการสึกหรอสูงมาก ดังแสดงต่อไปนี้

กลุ่ม 1 ดีมาก Urethane, Butadiene, SBR และยางธรรมชาติ

กลุ่ม 2 ดี-ดีมาก EPDM, Chloroprene, Nitrile, Hypalon

กลุ่ม 3 ดี Butyl, Ethylene/Acrylic Elastomer, Vinyl Acetate-Ethylene Elastomer

กลุ่ม 4 เลว Silicone และ Thiokol

ง) ความเป็นฉนวนไฟฟ้า ยางธรรมชาติมีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงมากถึง 10^{15} โอห์มเหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี

จ) อายุการใช้งาน (Ageing) ยางธรรมชาติที่บางๆจะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย ต้องใส่สารแอนติออกซิแดนท์ช่วยป้องกันการเสื่อมนี้ นอกจากนั้นผิวของยางไม่ทนทานต่อโอโซนด้วย ทำให้เกิดรอยแตกได้ง่ายเมื่อยืด แต่สำหรับยางหนาๆแล้ว ออกซิเดชันจะไม่เข้าไปถึงส่วนในของยาง ทำให้ยางภายใต้ผิว 2-3 มิลลิเมตร เข้าไปจะยังคงสภาพคืออยู่เมื่อใช้ไปนานๆ ดังนั้น ในการใช้งานบางประเภทที่ต้องการใช้งานเป็นเวลานานๆ เช่น ในกรณีของยางรองสะพาน (Bridge Bearing) ซึ่งยางต้องใช้มากกว่า 20 ปีขึ้นไป การใช้ยางธรรมชาติก็จะเหมาะสมกว่า

ข) ความทนทานต่อสารเคมี ยางธรรมชาติไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม แต่มีความทนทานต่อของเหลวที่มีขี้ เช่น อะซีโตนหรือแอลกอฮอล์ได้ดี ยางธรรมชาติทนต่อกรด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกเข้มข้นและกรดกำมะถันเข้มข้น

ค) อุณหภูมิที่ใช้งาน ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -70 องศาเซลเซียส จนถึง 70 องศาเซลเซียส โดยที่ยางทั่วไปจะแข็งตัวเมื่อเย็นจนยืดไม่ได้ และเมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป ค่า Tensile Strength จะต่ำลง

ง) ความกระด้างตัวของยาง (Resilience) ยางธรรมชาติมีความกระด้างสูงมี Heat Build Up ต่ำ (ต่ำกว่ายาง SBR) ทำให้ยางธรรมชาติจึงนิยมในการใช้ทำยางรถบรรทุก ซึ่งต้องรับงานหนัก เกิดความร้อนสูงได้ง่ายถ้ายางไม่ดีพอ

ฉ) สมบัติการติด (Tack) ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติติดกันเองได้ดี ทำให้สามารถทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีหลายชิ้นส่วนประกอบกันได้ดี เช่น ในกรณีของยางรถยนต์เป็นต้น ยางสังเคราะห์บางอย่าง เช่น tack ไม่ดี ไม่อาจจะทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีหลายชิ้นส่วนได้

ช) ราคา ยางธรรมชาติมีราคาถูกทำให้เหมาะแก่การนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติ ได้แก่ ยางล้อรถยนต์ ยางเครื่องบิน ยางรองคอสสะพาน ยางรองรับแรงสะเทือนหรือแผ่นดินไหว ยางชิ้นส่วนรถยนต์ และเฟอร์นิเจอร์ พื้นรองเท้า กาวยาง ยางเส้นรัดของ เป็นต้น

2.2.2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

- โครงสร้างหลักประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน ทำให้ยางมีสมบัติไม่ทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันพืช แต่จะเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี
- พันธะคู่ในโครงสร้างที่ว่องไวในปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน และทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและ โอโซน ซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมสภาพของยาง
- สายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี อาจจะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก โดยที่ยางธรรมชาติมีค่า $T_g = -72$ องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่ายางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

- โครงสร้างโมเลกุลที่มีความสม่ำเสมอ ทำให้ยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้เมื่อยืด มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงมาก และทำให้มีสมบัติการติด (Tack) ดี
- น้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง จึงต้องนำยางไปบดเพื่อให้ได้โมเลกุลเล็กลง ก่อนนำไปใช้งาน

2.2.2.12 ผลกระทบของยางธรรมชาติ

การนำผลิตผลจากต้นยางมาใช้ประโยชน์แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ ในรูปของยางแห้ง (Dry Rubber) และน้ำยางข้น (Concentrated Latex)

2.2.2.13 การผลิตยางดิบในรูปยางแห้ง

โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การผลิตแบบยางธรรมชาติ (Conventional Rubber Process) ได้แก่ การผลิตยางแผ่นรมควัน (Rubber Smoked Sheet) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air Dried Sheet) และยางเครพ (Crepe Rubber) ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ การผลิตแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน (Technically-Specified Rubber) หรือเรียกกันว่ายางแท่ง

2.2.2.14 การผลิตยางดิบในรูปของน้ำยางข้น

ปกติน้ำยางสดจะมีน้ำมากเกินไป โดยจะมีเนื้อยางแห้งเฉลี่ย 35% มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% ที่เหลือนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ จึงไม่เหมาะต่อการทำผลิตภัณฑ์ และเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จึงต้องมีการเอาน้ำออกจากน้ำยางสดจนมีเนื้อยางเข้มข้น 60% น้ำยางที่ได้เรียกว่า น้ำยางข้น (Latex) การผลิตน้ำยางข้นขั้นแรกจะเป็นการรวบรวมน้ำยางก่อน โดยเริ่มตั้งแต่การกรีดยาง รวบรวมน้ำยางจากถ้วยรองน้ำยางสู่ถังรวมน้ำยาง ถ่ายสู่ถังรถบรรทุกส่งโรงงาน จากนั้นนำไปผ่านการกรองด้วยตะแกรงขนาด 40 เมช หรือ 60 เมช และนำไปผลิตเป็นน้ำยางข้นในขั้นต่อไป ในระหว่างกระบวนการนี้จะเหมือนกันทุกโรงงาน แต่ระหว่างขั้นตอนเหล่านี้ พบว่าน้ำยางอาจมีโอกาสน้ำยางเสียได้เนื่องจากเกิดกรดไขมัน ซึ่งเป็นกระบวนการของแบคทีเรียและยีสต์ ฉะนั้นสิ่งสำคัญอันดับแรกคือ หลังจากกรีดยางออกจากต้นภายใน 2-3 ชั่วโมงจะต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยางลงไป เพื่อควบคุมการเกิดกรดไขมัน รักษาให้น้ำยางให้เป็นของเหลวอยู่เสมอ

2.2.3 สารเติมแต่ง (Additive)

2.2.3.1 สารเติมแต่งสำหรับยาง (Additive for Rubber)

สารเติมแต่งต่าง ๆ ที่ผสมเข้าไปในยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการทั้งในระหว่างการผลิต การคงรูปและการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ยางที่ผสมสารเคมีแล้วนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จนกว่าสารเคมีจะเข้าทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งอาจเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นด้วยการให้ความร้อน ยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมี เรียกว่า ยางไม่คงรูป (Green Compound หรือ Uncured Compound)

ส่วนยางที่สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับยางแล้ว เรียกว่า ยางคงรูป (Vulcanization Rubber) ปกตินิยมบอกปริมาณของสารเคมีแต่งทุกชนิดที่ใส่เข้าไปในยางเทียบกับยาง 100 ส่วน โดยมีหน่วยเป็น phr (Part per hundred of rubber) ทั้งนี้เพื่อความสะดวก หากมีการเปรียบเทียบกับสูตรยางที่มีปริมาณสารเคมีแตกต่างกัน และเขียนสูตรส่วนผสมยางมักเขียนเรียงลำดับสารที่จะใส่เข้าไปในยางก่อน-หลัง

2.2.3.2 สมบัติของยางที่ต้องการปรับปรุง มีดังนี้

ก. ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก สมบัติเป็นพลาสติก คือสมบัติของสารที่เมื่อใช้น้ำหนักกดลงไปจะแบนออกและพยายามคงสภาพความแบน ส่วนสมบัติเป็นอีลาสติก คือ สมบัติของสารที่พยายามรักษาสภาพก่อนถูกแรงกระทำ เช่น เมื่อยืดยางออกแล้วปล่อยแรงให้ยางเป็นอิสระยางจะกลับคืนรูปเดิม คือ เมื่อดึงออกจะยืดแต่เมื่อปล่อยกลับจะคืนกลับแต่ไม่เท่าเดิม การที่ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติกนี้ ทำให้ไม่สามารถนำยางไปใช้งานได้โดยตรง

ข. ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) คือ ที่อุณหภูมิต่ำ ยางจะแข็งกระด้าง แตกหักได้ง่าย แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นยางจะอ่อนนุ่มไหลแปรรูปไป การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำยางไปใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด

ค. ยางมีความแข็งแรงต้านทานแรงดึงต่ำและความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ

ง. ยางสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายหลายชนิด ยางเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 30,000 - 300,000 โมเลกุลเหล่านี้เมื่ออยู่รวมกันจะยึดกันด้วยแรงอ่อน ๆ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ โมเลกุลจึงแยกจากกันง่ายโดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วหรือมีสัมประสิทธิ์ของการละลายใกล้เคียงกับยาง ดังนั้นยางจึงสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายต่าง ๆ

2.2.3.3 ประโยชน์ในการผสมยางกับสารเคมี เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น

ก. เพื่อเป็นตัวช่วยในกระบวนการแปรรูปยาง

ปกติในยางดิบที่ยังไม่ได้ผสมกับสารเคมีอื่นจะมีสมบัติเหนียว ซึ่งเกี่ยวกับความยืดหยุ่นของส่วนประกอบที่อยู่ในยางดิบ และทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การรีดยางให้เป็นแผ่นเรียบจากเครื่องรีดเรียบ ซึ่งจะเห็นถึงความผิดปกติ หรือความไม่สม่ำเสมอของยางเมื่อผ่านเครื่องรีดเรียบ แต่หลังจากที่ได้เติมสารเคมีเช่น สารทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องรีดเรียบมีผิวเรียบ และสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอของแผ่นยางได้

ข. ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น

จากความเหมาะสมในการเลือกสารเคมีผสมในยาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางอย่างมาก จากผลิตภัณฑ์ที่ไม่แข็งแรง ไม่ทนไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการทนความร้อน

ค. เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

การนำยางมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้แต่เนื้อยางล้วน ๆ จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ถ้าสามารถผสมสารตัวเติมที่มีราคาถูกลงไปจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลง

2.2.3.4 สารเติมแต่งสำหรับพอลิเมอร์

การนำเอาพอลิเมอร์เพียงอย่างเดียวไปใช้งาน หรือ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการเลยนั้นทำได้ น้อย โดยปกติแล้วจะต้องนำพอลิเมอร์มาผสมกับสารอื่นในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ พอลิเมอร์มี สมบัติดีขึ้น และคงทนต่อการใช้งานมากขึ้นหรือช่วยให้กระบวนการผลิตทำงานง่ายขึ้นสารอื่นที่ผสมลงไป ด้วยนี้เรียกว่า สารเติมแต่ง (Additives) นอกจากนี้ยังมีสารเติมแต่งบางชนิดใส่ไปเพื่อลดต้นทุนการผลิต หรือเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากใช้สารเติมแต่งอีกชนิดหนึ่งสำหรับในงานศึกษาครั้งนี้จะกำหนดอัตราส่วน คือในลอน 6 ที่ 97% ผสมกับ Additives 3%

โดยทั่วไปแล้ว สารเติมแต่งที่ใช้ใส่ในพอลิเมอร์ (Polymer additives) ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. ทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เสถียรภายใต้การขึ้นรูป
3. เสถียรภายใต้การใช้งาน
4. ไม่เป็นพิษและไม่ทำให้เกิดกลิ่นหรือรส
5. ไม่เกิดการคายสี (Bleeding) หรือ การเป็นฝ้า (Blooming)
6. มีราคาถูก
7. ไม่ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์เสียไป

สารเติมแต่งมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งอาจแบ่งได้ตามสถานะทางกายภาพได้ เป็น 4 หมู่ คือเป็นของแข็ง ยาง ของเหลวและแก๊ส แต่ถ้าจำแนกตามหน้าที่การทำงาน จะแบ่งได้เป็นหลาย ประเภทดังนี้

- สารดัดแปรสมบัติเชิงกล (Mechanical Property Modifiers)
- สารดัดแปรสมบัติทางเคมี (Chemical Property Modifiers)
- สารดัดแปรเพื่อความสวยงาม (Aesthetic Property Modifiers)
- สารดัดแปรสมบัติที่พื้นผิว (Surface Property Modifiers)
- สารดัดแปรสำหรับกระบวนการผลิต (Processing Modifiers)

สารเติมแต่งแต่ละประเภทยังแบ่งออกย่อยๆ ได้อีกดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งจากตารางดังกล่าว จะเห็นได้ว่าสารเติมแต่งบางชนิดทำหน้าที่ได้หลายอย่าง ตัวอย่างเช่น พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) อาจ ใช้เพื่อเพิ่มความอ่อนตัวไม่เปราะ (Flexibility) ของผลิตภัณฑ์หรือเพื่อลดความหนืดขณะหลอมเหลว (Melt Viscosity) ของพอลิเมอร์ระหว่างกระบวนการผลิตสารอีกชนิด ได้แก่ สารทำให้ลื่น (Release

Agent) นอกจากจะช่วยไม่ให้พอลิเมอร์ติดกันกับเครื่องจักรขณะขึ้นรูปแล้ว ยังช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีผิวลื่นจึงไม่เกิดการติดกันกับผิววัสดุอื่นๆ

เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ สารเติมแต่งบางชนิด เช่นฟิลเลอร์ (Fillers) เส้นใยเสริมแรง (Reinforcing Fibers) จะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ในขณะที่สารเติมแต่งบางชนิด เช่น สารกันออกซิเดชัน (Antioxidant) สารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสงยูวี (UV Stabilizer) ละลายในพอลิเมอร์ได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับสารคัดแปรสมบัติที่พื้นผิวสามารถเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ได้อย่างจำกัด จึงมักเคลื่อนย้าย (Migrate) มาที่พื้นผิว ซึ่งอาจมีผลทำให้พื้นผิวพอลิเมอร์เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงใช้สารเติมแต่งชนิดนี้ที่ปริมาณต่ำๆ (2% โดยน้ำหนัก) หรือในบางกรณี อาจใช้วิธีเคลือบสารชนิดนี้ที่ผิวหลังการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว

ปริมาณสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่ใช้ใส่ในพอลิเมอร์จะไม่เท่ากัน ตัวอย่างสารกันออกซิเดชัน สารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสงจะใช้ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ขณะที่สารเติมแต่งอีกหลายชนิด เช่น พลาสติกไซเซอร์ ฟิลเลอร์ เส้นใยเสริมแรงจะนำมาผสมกับพอลิเมอร์ในปริมาณสูงอย่างไรก็ตามสารเติมแต่งบางชนิดใช้ที่ปริมาณสูงในพอลิเมอร์เพียงหนึ่งหรือสองชนิดเท่านั้น ตัวอย่างเช่น พลาสติกไซเซอร์จะนำมาผสมกับโพลิไวนิลคลอไรด์ในปริมาณสูง ในขณะที่พอลิเมอร์ชนิดอื่นๆใช้ในปริมาณน้อย

ตารางที่ 2.3 ประเภทของสารเติมแต่งสำหรับพอลิเมอร์

1. สารคัดแปรสมบัติเชิงกล (Mechanical Property Modifiers)

สารเติมแต่ง	หน้าที่
ฟิลเลอร์ (Fillers)	ลดต้นทุน เพิ่มความแข็งแรง
เส้นใยเสริมแรง (Reinforcing Fibers)	เพิ่มความแข็งแรงและความแข็งตึง
สารเพิ่มความทนแรงกระแทก (Impact Modifiers)	เพิ่มความทนแรงกระแทก
สารก่อผลึก (Nucleating Agents)	เพิ่มปริมาณผลึกขนาดเล็ก
พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers)	เพิ่มความอ่อนตัวไม่เปราะ

2. สารคัดแปรสมบัติทางเคมี (Chemical Property Modifiers)

สารเติมแต่ง	หน้าที่
สารกันออกซิเดชัน (Antioxidants)	ป้องกันการสลายตัวจากออกซิเดชันเพิ่มความ
สารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสงยูวี (UV Stabilizers)	ป้องกันการสลายตัวจากแสงยูวี
สารหน่วงไฟ (Flame Retardants)	เพิ่มความทนไฟ
สารกันจุลินทรีย์ (Biocides)	ป้องกันการทำลายจากจุลินทรีย์และเห็ดรา

3. สารดัดแปรเพื่อความสวยงาม (Aesthetic Property Modifiers)

สารเติมแต่ง	หน้าที่
สารสี (Colorants)	ช่วยให้มีสีสันสวยงาม
สารให้กลิ่น (Odorants)	เพิ่มกลิ่นหอมหรือดับกลิ่นเหม็น
สารก่อผลึก (Nucleating Agents)	ช่วยให้แสงผ่านพอลิเมอร์ได้มากขึ้น
สารกันจุลินทรีย์ (Biocides)	ป้องกันการเกิดกลิ่นจากเชื้อรา

4. สารดัดแปรสมบัติที่พื้นผิว (Surface Property Modifiers)

สารเติมแต่ง	หน้าที่
สารกันติด (Antiblocking Agents)	ป้องกันไม่ให้แผ่นฟิล์มหรือชีทติดกัน
สารกันไฟฟ้าสถิต (Antistatic Agents)	ลดการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตที่พื้นผิว
สารประสาน (Coupling Agents)	เพิ่มแรงยึดระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรงหรือฟิลเลอร์
สารทำให้ลื่น (Release Agents)	ลดสัมประสิทธิ์การเสียดทานที่พื้นผิว

5. สารดัดแปรสำหรับกระบวนการผลิต (Processing Modifiers)

สารเติมแต่ง	หน้าที่
สารฟู (Blowing Agents)	ทำให้เกิดแก๊สเพื่อใช้ในการผลิตโฟม
สารเชื่อมขวาง (Crosslinking Agents)	ทำให้เกิดการเชื่อมขวาง
สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Heat Stabilizers)	ป้องกันการสลายตัวจากความร้อน
พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers)	ลดความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลว
สารทำให้ลื่น (Release Agents)	ป้องกันการติดกันกับเครื่องมือขึ้นรูป
สารหล่อลื่น (Lubricants)	ลดแรงเสียดทานระหว่างพอลิเมอร์หลอมเหลวกับเครื่องจักรและแม่แบบขณะขึ้นรูป
สารช่วยขึ้นรูป (Processing Aids)	ช่วยในการขึ้นรูปทำได้ง่ายขึ้น

สำหรับพอลิเมอร์ที่ใส่สารเติมแต่งเพียงชนิดเดียวแทบจะไม่มีเลข โดยทั่วไปแล้วจะผสมสารเติมแต่งหลายชนิดลงไปในพอลิเมอร์ ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้งานและปริมาณของสารเติมแต่งบางชนิดที่ใช้ในพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.4 การใช้งานและปริมาณของสารเติมแต่งในพอลิเมอร์

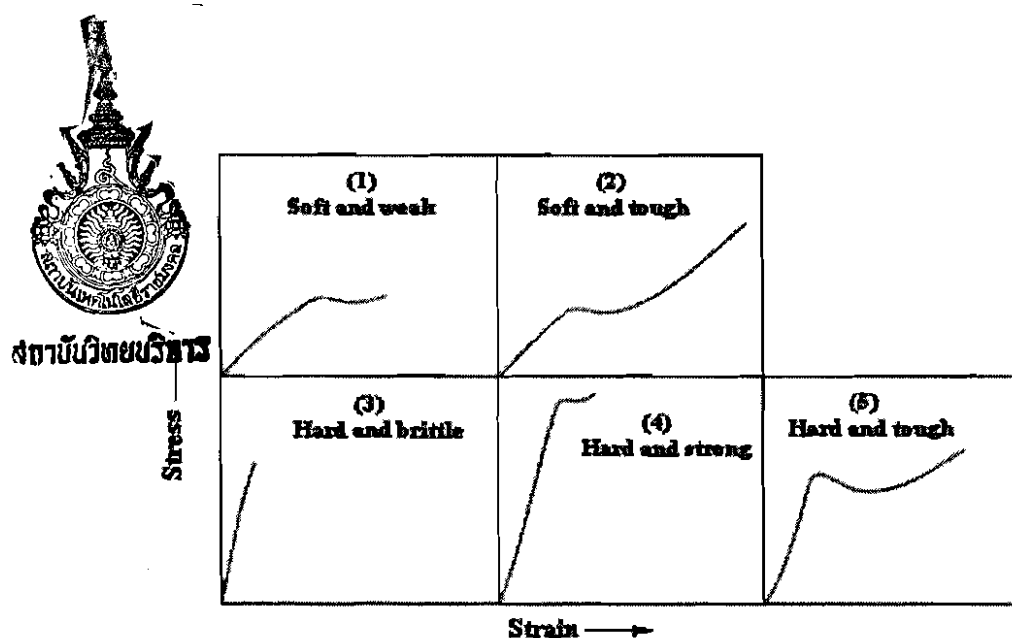
สารเติมแต่ง	การใช้งาน	ปริมาณ(PHR)
สารกันออกซิเดชัน	พอลิเมอร์ทุกชนิด โดยเฉพาะ PP PE	0.02-1
สารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสงยูวี	พอลิเมอร์จำนวนมาก	0.01-0.3
สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน	ส่วนใหญ่ใช้กับ PVC	0.5-5
เส้นใยเสริมแรง	ส่วนใหญ่ใช้กับพลาสติกวิศวกรรม	10-100
ฟิลเลอร์	ส่วนใหญ่ใช้กับ PVC , PE , PP	10-50
พลาสติกไซเซอร์	ส่วนใหญ่ใช้กับ PVC	5-80
สารสี	พอลิเมอร์ทุกชนิด	<0.01-5
สารเพิ่มความทนแรงกระแทก	พอลิเมอร์ทุกชนิด โดยเฉพาะ PVC	5-25
สารหล่อลื่น	พอลิเมอร์ทุกชนิด โดยเฉพาะ PVC	0.5-1
สารหน่วงไฟ	พอลิเมอร์ทุกชนิด	5-100

นอกจากสารเติมแต่งที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 แล้ว ยังมีสารเติมแต่งอื่น ๆ ที่ได้มีการผลิตและพัฒนาเพื่อการใช้งานพิเศษ ตัวอย่างเช่น Dopants ซึ่งใช้เพื่อเพิ่มสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์หรือสารที่ใส่ลงไปเพื่อช่วยให้พอลิเมอร์ เกิดการสลายตัวได้ เป็นต้น

2.2.3.7 สารเพิ่มความทนแรงกระแทก (Impact Modifiers)

พอลิเมอร์บางชนิด เช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ โพลีสไตรีนและโพลิโพรพิลีน มีสมบัติเปราะ ขาดความเหนียว (Toughness) และมีความทนแรงกระแทก (Impact Strength) ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ ต่ำๆ ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานบางประเภท อย่างไรก็ตามก็ยังสามารถทำให้พอลิเมอร์เหล่านี้มีความเปราะลดลงและมีความทนแรงกระแทก หรือความเหนียวเพิ่มขึ้นได้โดยการใส่สารเติมแต่งที่เรียกว่า สารเพิ่มความทนแรงกระแทก (Impact Modifiers) ผสมลงไป

ความเหนียวและการทดสอบแรงกระแทกความเหนียวคือ ความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงาน ก่อนที่จะเกิดการแตกหัก ความเหนียวของวัสดุวัดได้จากพื้นที่ใต้เส้นโค้ง - ความเครียด (Stress-Strain Curve) ถ้าพื้นที่ใต้เส้นโค้งมากแสดงว่าวัสดุมีความเหนียวมาก กราฟความเค้น- ความเครียด ลักษณะต่าง ๆ ของพอลิเมอร์แสดงในรูป 2.13



รูปที่ 2.13 กราฟความเค้น-ความเครียดลักษณะต่างๆของพอลิเมอร์

จากรูปที่ 2.13 พอลิเมอร์ตามรูป (2) เช่น พอลิเอทิลีน และ พอลิเมอร์ตามรูป (5) เช่น โพลีคาร์บอนเนตมีพื้นที่ใต้เส้นโค้งมาก จึงมีความเหนียวมากกว่าทั้งสามารถยืดออกได้มากกว่าก่อนที่จะเกิดการขาดหรือแตกหัก (High Elongation at Break) ในขณะที่พอลิเมอร์ซึ่งเปราะและยืดได้น้อย จะมีพื้นที่ใต้เส้นโค้งน้อยดังแสดงในรูป (3) ตัวอย่างของพอลิเมอร์ชนิดนี้ได้แก่ โพลิสไตรีน (Polystyrene) ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความทนแรงกระแทก (Izod, Notched) ของพอลิเมอร์ที่สำคัญหลายชนิด ซึ่งจะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ที่แข็งและเปราะ เช่น โพลิสไตรีน มีความทนแรงกระแทกต่ำมาก ในขณะที่พอลิเมอร์ที่แข็งและเหนียว เช่น โพลีคาร์บอนเนตมีความทนสูงมาก ส่วนโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่อ่อนและเหนียวก็มีความทนแรงกระแทกสูงมากเช่นเดียวกัน (ขึ้นทดสอบ ไม่แตกหัก)

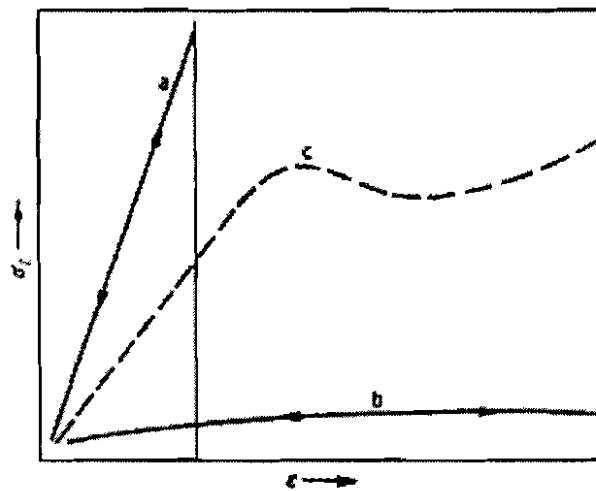
ตารางที่ 2.5 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของพอลิเมอร์	ค่าความทนแรงกระแทก (จูล/เมตร)
Polyvinyl chloride (PVC)	20-100
Polystyrene (PS)	13-25
High Impact polystyrene (HIPS)	50-400
Polypropylene	20-75
Low Density Polyethylene (LDPE)	ไม่แตกหัก (No Break)
High Density Polyethylene (HDPE)	30-200
Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS (Medium–Impact Grade)	130-320
Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS (High–Impact Grade)	350-600
Acrylonitrile Butadiene Acylester (ASA)	450-600
Polyethylene Terephthalate (PET)	12-40
Polybutylene Terephthalate (PBT)	40-55
Polyamide (Nylon 6)	30-120
Polyamide (Nylon 6, 6)	30-55
Polycarbonate (PC)	650-1000
Cellulose Acetate (CA)	120
Phenolic	~20
Melamine	~20
พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมตัว	~20
Epoxy	75

2.2.3.8 กลไกการปรับปรุงความทนแรงกระแทก

การทำให้พอลิเมอร์ที่เปราะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น นอกจากวิธีการใส่สารเพิ่มความทนแรงกระแทกแล้ว ยังอาจใช้วิธีการอื่นๆ ได้ เช่น การใส่พลาสติกไซเซอร์หรือการทำโคพอลิเมอร์เซชัน แต่ทั้ง 2 วิธีการนี้มีข้อเสีย คือ ทำให้ความแข็งแรง (Rigidity) ของพอลิเมอร์ลดลงในทางตรงกันข้าม การผสมสารเพิ่มความทนแรงกระแทกสามารถทำให้พอลิเมอร์มีความเหนียวเพิ่มขึ้นได้ โดยแทบไม่มีผลต่อความแข็งแรงของพอลิเมอร์ รูปที่ 2.14 แสดงผลของสารเพิ่มความทนแรงกระแทกต่อพฤติกรรมความเค้น – ความเครียดของพอลิเมอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใส่สารเพิ่มความทนแรงกระแทก ทำให้พอลิเมอร์ซึ่งแข็งและเปราะเปลี่ยนไปเป็นวัสดุที่แข็งและเหนียว

โดยทั่วไปสารเพิ่มความทนแรงกระแทกทำจากยาง (อีลาสโตเมอร์) หรือพอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิ กลาสทรานซิชัน (Glass Transition, T_g) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์แล้ว สารเพิ่ม ความทนแรงกระแทกจะกระจายอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer Matrix) และเรียกของผสมระหว่าง พอลิเมอร์และสารเพิ่มความทนแรงกระแทกนี้ว่าพอลิเมอร์เบลนด์ (Polymer Blends)

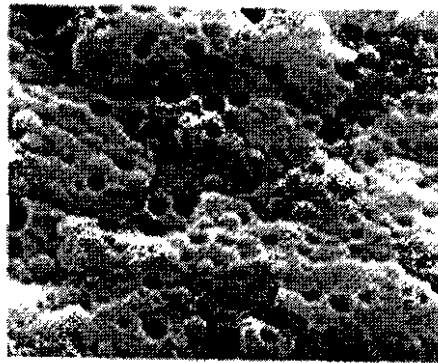


รูปที่ 2.14 ผลของสารเพิ่มความทนแรงกระแทกต่อความเค้น - ความเครียดของพอลิเมอร์

เมื่อพอลิเมอร์เบลนด์ได้รับแรงกระแทก ในขั้นแรกพลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นจะถูกดูดกลืนโดยพอลิเมอร์ก่อน ซึ่งถ้าพลังงานนี้ถูกถ่ายโอนไปให้สารเพิ่มความทนแรงกระแทกได้ พอลิเมอร์ก็จะไม่เกิดการแตกหัก ในทางตรงกันข้ามถ้าพลังงานถูกถ่ายโอนไม่ได้ยังคงค้างอยู่ในพอลิเมอร์ จะเป็นผลให้เกิดความเค้นขึ้นในพอลิเมอร์เมทริกซ์ซึ่งนำไปสู่การแตกหักได้ ซึ่งการที่พอลิเมอร์เบลนด์จะรับแรงกระแทกได้ดีนั้น บริเวณรอยต่อระหว่างเฟสพอลิเมอร์และเฟสอีลาสโตเมอร์ในพอลิเมอร์เบลนด์ทั้ง 2 ระบบจะต้องมีการยึดติดที่ดี

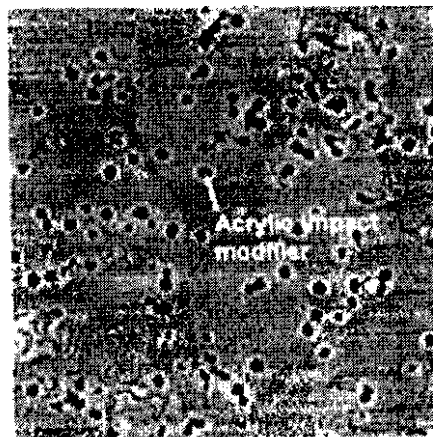
จากการตรวจสอบ โครงสร้างของพอลิเมอร์เบลนด์ที่ประกอบด้วย สารเพิ่มความทนแรงกระแทกชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง (Scanning Electron Microscopy) พบว่ามีโครงสร้างต่างกัน 2 แบบ คือ

1. ในกรณีที่ใช้สารเพิ่มความทนแรงกระแทกจากโคโพลิโอเลฟินส์ (Copolyolefin Impact Modifiers) เช่น เอทิลีน-ไวนิลแอสเซเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) เอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอินเทอร์พอลิเมอร์ (EPDM) หรือจากคลอรีเนเตดโพลิเอทิลีน (CPE) กับโพลิไวนิลคลอไรด์หรือพอลิเอไมด์ พบว่าสารเพิ่มความทนแรงกระแทกจะห่อหุ้มอนุภาคปฐมภูมิ (Primary Particles) ของพอลิเมอร์ระหว่างกระบวนการขึ้นรูป และกระจายอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ในลักษณะต่อกันเป็นร่างผึ้ง (Honey-Combed Network) ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ภาพขยายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง (Scanning Electron Microscopy) ของสารเพิ่มความทนแรงกระแทกที่ห่อหุ้มอนุภาคปฐภูมิ

2. ในกรณีที่ใช้สารเพิ่มความทนแรงกระแทกอะคริลิก (Acrylic Impact Modifiers) พบว่าอนุภาคของสารเพิ่มความทนแรงกระแทกซึ่งมีลักษณะทรงกลม จะกระจายอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.16

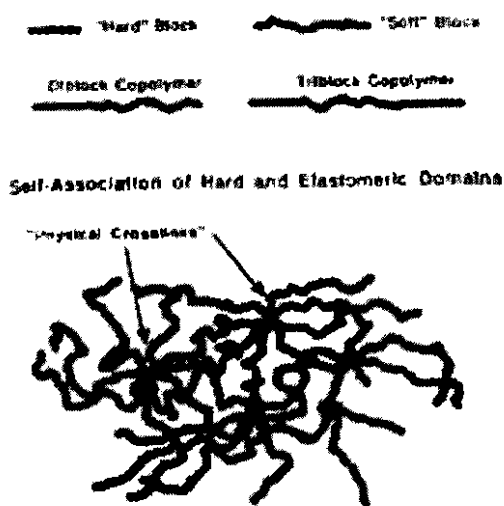


รูปที่ 2.16 อนุภาคของสารเพิ่มความทนแรงกระแทกซึ่งมีลักษณะทรงกลม ที่กระจายอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์

2.2.3.9 สารเพิ่มความทนแรงกระแทกทางการค้า

ในทางการค้า มีพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเป็นอีลาสโตเมอร์หลายชนิด ที่สามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความทนแรงกระแทกได้ดังตารางที่ 2.6 โดยมีบางชนิดที่ทำจากโคพอลิเมอร์แบบบล็อก (Block Copolymer) ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยพอลิเมอร์ส่วนที่แข็ง (Hard Segment) ค่อยอยู่กับส่วนที่อ่อนนุ่ม (Soft Segment) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง โดยลักษณะของบล็อกอาจเป็นแบบไดบล็อก (Diblock) หรือ ไตรบล็อก (Triblock) รูป 2.17 แสดงพื้นฐานวิทยาของโคพอลิเมอร์แบบบล็อก ซึ่งจะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ส่วนที่แข็งจะทำหน้าที่เชื่อมขวางทางกายภาพ (Physical Crosslink) ให้กับพอลิเมอร์ส่วนที่อ่อนนุ่ม ดังนั้นที่อุณหภูมิห้องนั้น โคพอลิเมอร์แบบบล็อกนี้ จะมีสมบัติเหมือนยางที่ผ่านกระบวนการเชื่อมขวางแล้วแต่ที่

อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดการหลอมเหลวได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก และเรียกโคพอลิเมอร์มีสมบัติแบบนี้ว่า เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers, TPE)



รูปที่ 2.17 สันฐานวิทยาของ โคพอลิเมอร์แบบบล็อก

ตารางที่ 2.6 สารเพิ่มความทนแรงกระแทกที่สำคัญทางการค้า

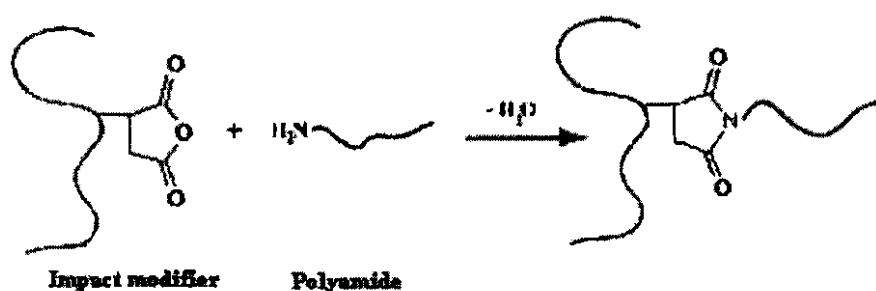
สารเพิ่มความทนแรง กระแทก	องค์ประกอบ/สันฐานวิทยา	ใช้งานกับ
EPDM	เอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน เทอร์พอลิเมอร์	PP, PS
Functionalized Polyolefins	โพลิโอเลฟินส์ที่ถูกดัดแปรด้วยกรด	PA, PC
Thermoplastic-Polyester elastomer	โคพอลิเมอร์แบบบล็อก	PET, PBT
SBS	สไตรีน-บิวตะไดอีน บล็อกโคพอลิเมอร์	PS, PP, PPO
Acrylic (core-shell)	Polyacrylic "core"/polymethacrylic "shell"	PVC, PC, PET
MBS (core-shell)	Polybutadiene or polybutadiene/styrene "core" polymethacrylic "shell"	PVC, PC, PET, PBT
ABS	อะครีโลไนไตร-บิวตะไดอีน-สไตรีน พอลิเมอร์	PVC, PC, PET, PUR
EVA	เอทิลีน-ไวนิลเอซิเตต โคพอลิเมอร์	PVC
SBR	ยางสไตรีน-บิวตะไดอีน	PS
NBR	อะครีโลไนไตร-บิวตะไดอีน โคพอลิเมอร์	PVC
CPE	คลอริเตต โพลิเอทิลีน	PVC

2.2.3.10 สารเพิ่มความทนแรงกระแทกสำหรับพอลิเอไมด์

พอลิเอไมด์ (Polyamide, PA) หรือที่รู้จักกันในชื่อ ไนลอน เป็นพลาสติกวิศวกรรมที่มีปริมาณการผลิตและการใช้งานมากที่สุด โดยไนลอนชนิดที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางได้แก่ ไนลอน 6 และ ไนลอน 6,6

ในการใช้งานเป็นพลาสติกวิศวกรรมมักปรับปรุง PA ให้มีความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น โดยการใส่สารที่มีอนุกรมหมึกกลาสทราชนิซันต่ำสารที่เหมาะสมได้แก่ “Functionalized Polyolefins”

Functionalized Polyolefins หมายถึง โพลีโอเลฟินส์ (ส่วนใหญ่ได้แก่ เอทิลีนโคพอลิเมอร์) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรด (เช่น กรดอะคริลิก กรดมาเลอิก หรือมาเลอิกแอนไฮไดรด์) ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับ PA แล้วจะสามารถเข้ากันได้ดี เนื่องมาจากการเข้าทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของโพลีโอเลฟินส์กับหมู่อะมิโนที่ปลายโซ่ของ PA ดังนี้



จากสมการข้างต้นพบว่าพอลิเอไมด์หลังผสม Functionalized Polyolefins แล้วจะมีความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นถึง 15-20 เท่า

2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends)

พอลิเมอร์ผสม หมายถึง การนำพอลิเมอร์ที่มีลักษณะทางเคมีที่ต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ผสมกันเพื่อปรับปรุงสมบัติ ซึ่งไม่สามารถได้จากพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียว ดังนั้นการเบลนด์จะเป็นการพัฒนาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ ซึ่งมีความซับซ้อนมากกว่าสมบัติที่ได้รับเนื่องจากการผสม เช่น ความง่ายในการแปรรูป การทนต่อความร้อนและสารเคมี ทนทานต่อการกระแทกและการดึง เป็นต้น นอกจากนี้การเบลนด์พอลิเมอร์ที่มีราคา ถูกกับพอลิเมอร์ที่ใช้ในวิศวกรรม หรือพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานสมรรถนะสูง เป็นการประหยัดต้นทุนและได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติยอมรับได้

การเตรียมพอลิเมอร์ผสม จะพิจารณาความเข้ากันได้ของการผสมเป็นหลัก กล่าวคือ พอลิเมอร์ที่ได้หลังจากผ่านการผสมแล้ว ต้องมีลักษณะทางอณูฐานวิทยา (Morphology) เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เห็นการแยกเฟสเลย ดังนั้นการเข้ากันได้จึงเป็นสิ่งสำคัญของการเตรียมพอลิเมอร์ผสม การผสมที่เข้ากันได้ไม่ดีหรือเข้ากันได้ไม่ดี จะเกิดผลเสียต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

เนื่องจากจะเกิดการแยกเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดอย่างชัดเจน ลักษณะการแยกเฟสจะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันต่ำ จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้เกิดการแตกได้ง่าย สมบัติเชิงกลลดลงและทำให้ตัวทำละลายแพร่เข้าไปในระบบได้ง่าย เนื่องจากมีช่องว่างมากกว่าปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์เดิมแต่ละตัว

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการผสม

เหตุผลหลักที่ทำการผสม เพื่อปรับปรุงสมบัติของพลาสติกตัวหนึ่ง โดยใช้สมบัติของพลาสติกอีกตัวหนึ่ง และในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้ว การผสมเป็นอีกวิธีการหนึ่งของการผลิตที่มีสมบัติตามที่ต้องการ แต่ลงทุนน้อยลง ซึ่งเนื่องมาจากพลาสติกบริสุทธิ์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการมีราคาสูง จึงทำการผสม โดยการนำเอาพลาสติกที่มีราคาต่ำกว่าตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาทำการผสมกันเพื่อให้ได้พลาสติกในอุดมคติที่มีสมบัติตรงตามที่ต้องการ โดยทั่วไปถือหลักการความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจในด้านราคาดังต่อไปนี้

1. เพิ่มสมบัติที่ดียิ่งขึ้นให้กับเรซินทางวิศวกรรม โดยมีราคาค้นทุนการผลิตต่ำ
2. เพื่อพัฒนาวัสดุให้มีคุณสมบัติที่สูงสุดตามต้องการ
3. เพื่อให้เกิดการผสมที่ดี ซึ่งต้องอาศัยการเกิดปฏิกิริยากันของพอลิเมอร์
4. เพื่อปรับเปลี่ยนส่วนประกอบหรือสัดส่วนในการผสมให้ได้ตามที่ลูกค้าต้องการ
5. เพื่อขยายประสิทธิภาพและขอบเขตการใช้งานของเม็ดพลาสติกที่มีราคาสูง ๆ
6. เพื่อประโยชน์ในการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุ

งานส่วนสำคัญและเป็นส่วนที่ยากที่สุด คือ การพัฒนาวัสดุจำพวกพอลิเมอร์ให้มีสมบัติตามความต้องการอย่างครบถ้วน ซึ่งจะต้องอาศัยการคัดเลือกพอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบหลักโดยใช้หลักการที่ว่าสมบัติที่เด่นของพอลิเมอร์ตัวแรกจะชดเชยกับส่วนที่ด้อย และพอลิเมอร์อีกตัวเลือกที่ใช้ เช่น พอลิออกซีเมทิลีนมีสมบัติเชิงกลดีมาก แต่มีข้อเสีย คือ ค่อนข้างจะมีโครงสร้างที่เปราะบาง อันเนื่องมาจากโครงสร้างแบบง่าย ๆ ทำให้การนำไปใช้งานถูกจำกัดอยู่แต่เพียงเป็นส่วนประกอบของสารที่มีความยืดหยุ่นต่อแรงกระแทกบางชนิด เช่น พอลิบิวตะไดอิน หรือ พอลิยูรีเทน

2.3.2 การผสมเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ (Blending Of Thermoplastic Polymers)

การพัฒนาสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) เช่น ความทนทานต่อการใช้งาน (Toughness) เป็นเหตุผลสำคัญในการพัฒนาเทอร์โมพลาสติกอัลลอยด์ (Thermoplastic Alloy) และ เบลนด์ (Blending)

เหตุผลในการผสมพอลิเมอร์เข้าด้วยกันมีดังนี้

1. การพัฒนาสมบัติทางด้านการแปรรูป ในกระบวนการผลิตของพอลิเมอร์ (Processability) โดยเฉพาะเทอร์โมพลาสติก ประเภทพอลิเมอร์อะโรมาติก (Polyaromatic) ที่มีอุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิต
2. เพื่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลที่ดีขึ้น โดยการนำให้สมบัติที่เราต้องการในแต่ละตัวของพอลิเมอร์มาผสม

3. เพื่อหากำลังของตลาด ซึ่งเหตุผลสุดท้ายนี้แนวโน้มการเติบโต ในความสนใจเรื่องกระบวนการรีไซเคิลพลาสติก (Plastic Recycling Process) ในเรื่องของเทคโนโลยีของการผสมบางครั้งอาจจะหมายถึง คุณสมบัติที่เราต้องการซึ่งได้มาจากการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์

2.3.3 วิธีการผสมเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ (Method of Thermoplastic Polymers Blending)

กระบวนการผสมจะเคลื่อนย้ายความหนาแน่นของสายโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อเชื่อมกันของพอลิเมอร์ ทำให้ได้เบลนด์ที่มีเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Blend) ระดับความเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นอยู่กับธรรมชาติขององค์ประกอบที่นำมาทำการผสมและเทคนิคการผสมที่เราใช้

วิธีการผสมสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีดังนี้ คือ

1. การผสมทางกล (Mechanical Blending) ปกติจะใช้กับการผลิตเบลนด์ที่มีลักษณะการกระจายหายามากๆ สมบัติของพอลิเมอร์ผสมอยู่ที่อิทธิพลของความเร็วของการผสม (Speed of Mixing) และอุณหภูมิของการผสม (Temperature of Mixing) พอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันจะได้มาหลังจากการหลอมเหลวในกระบวนการผลิตเสร็จแล้ว
2. การผสมแบบละลาย (Solution Blending) หากพอลิเมอร์ที่จะทำการผสมที่ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายธรรมดา
3. พอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization) พอลิเมอร์จะถูกทำให้อยู่ในรูปของลาเทกซ์ขนาดจุลภาค ตามด้วยการกำจัดน้ำออกไป จะได้การกระจายและการแจกแจงของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องกัน (Discrete Phase) ที่ดี
4. การผสมด้วยการทำปฏิกิริยา (Reactive Blending) เป็นวิธีการผสมแบบใหม่เพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ง่ายขึ้นในการทำวัสดุ (Material) ใหม่ ๆ จากคู่มือ วัสดุที่มีความเข้ากันไม่ได้สูง กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการเติมส่วนประกอบที่ 3 ในการทำปฏิกิริยาซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์หลายฟังก์ชันนัล (Multifunctional Copolymer) การพัฒนาการเข้ากันได้ในปฏิกิริยาของการผสม เป็นคุณสมบัติที่มีอิทธิพลต่ออิมัลซิฟายอิง (Emulsifying Effect) ภายในบล็อกของสายโซ่หรือกราฟโคพอลิเมอร์ (Graft Copolymer) ระหว่างการผสม

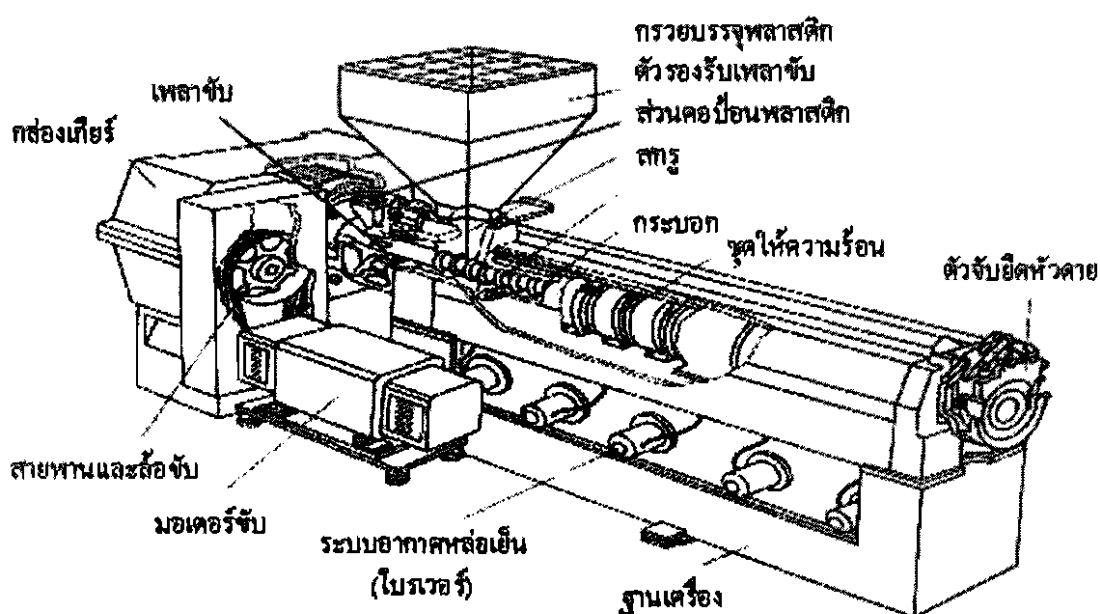
2.3.4 ข้อพิจารณาในการเลือกองค์ประกอบของการผสม

1. ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของพอลิเมอร์ในอุดมคติที่ต้องการ
2. เลือกคุณสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่มีพฤติกรรมตามที่ต้องการ
3. ตรวจสอบข้อดี ข้อเสียของพอลิเมอร์ที่เลือกมา
4. ตรวจสอบในเชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น ราคาต้นทุนของพอลิเมอร์ การเข้ากันของพอลิเมอร์ หรือผลกระทบจากกระบวนการ
5. หาโครงสร้างของพอลิเมอร์ในอุดมคติที่จะให้สมรรถนะที่ดีที่สุดแก่ผลิตภัณฑ์

6. เลือกคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ทางด้านมวลโมเลกุล ตัวแปร การผสม ความเข้มข้นขององค์ประกอบ ปริมาณของการเข้ากันได้ เป็นต้น
7. หาทฤษฎีเพื่อให้เกิดโครงสร้างตามที่ต้องการ เช่น การควบคุมอัตราการหล่อเย็น กระบวนการตกผลึกและปฏิกิริยาเคมี

2.3.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว แสดงรายละเอียดดังรูป 2.18 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.18 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยว

2.3.5.1 องค์ประกอบของเครื่อง

ก) สกรู (Extruder Screws) หน้าที่หลักของสกรูเดี่ยวของเครื่องเอกซ์ทรูด สรุปได้ดังนี้

- รับเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกเข้ามาในกระบอก
- ผสมส่วนผสมต่าง ๆ คือ พลาสติก สารเติมแต่ง และสีเข้าด้วยกัน
- ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน
- ช่วยเพิ่มความดันของพลาสติกหลอมเพื่อเอาชนะแรงต้านทำให้สามารถส่งพลาสติกหลอมไปยังส่วนอื่น ๆ ของสกรูและหัวคายนี้ได้
- ทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกหลอมเข้าสู่คายน์

ข) กระบอก (Cylinder หรือ Barrel) หน้าที่ของกระบอกในเครื่องเอกซ์ทรูด คือ เป็นตัวบรรจุสกรูไว้ภายในและ เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนแก่พลาสติก ขนาดกระบอกของเครื่องเอกซ์ทรูด โดยทั่วไปมีตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเครื่องเอกซ์ทรูดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับเครื่องเอกซ์ทรูดที่สามารถใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 65–200 มิลลิเมตร แต่ยังมีเครื่องเอกซ์ทรูดที่มีขนาดใหญ่มาก คือกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 600 มิลลิเมตร ซึ่งมีความยาวประมาณ 15 เมตร ซึ่งใช้ในโรงงานพลาสติก

ค) แผ่นเบรกเกอร์ ตะแกรงกรอง และอะแดปเตอร์ (Bresker Plate, Screen Pack and Adapter) ส่วนปลายของกระบอกของเครื่องเอกซ์ทรูด จะมีอะแดปเตอร์ยึดตะแกรงและแผ่นเบรกเกอร์ แผ่นเบรกเกอร์เป็นแผ่นโลหะกลมที่เจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3–5 มิลลิเมตรจำนวนมาก ทำหน้าที่ในการปรับเปลี่ยนลักษณะการไหลเป็นเกลียว เนื่องจากการหมุนของสกรูทำให้มีลักษณะการเป็นลามินาร์มากขึ้น และช่วยให้พลาสติกหลอมเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ดีขึ้นพลาสติกที่ไหลออกมาจะถูกรองรับด้วยตะแกรงกรอง ซึ่งทำหน้าที่ในการกรองสิ่งสกปรกและพลาสติกที่ไม่หลอมไหลผ่านหัวคายน์ ซึ่งวัสดุเหล่านี้ถ้าหลุดเข้าไปในคายน์จะทำให้ชิ้นงานมีจุดบกพร่อง

อะแดปเตอร์ทำหน้าที่ในการยึดแผ่นเบรกเกอร์ และกำหนดทิศทางให้พลาสติกหลอมไหลไปยังส่วนของหัวคายน์ นอกจากนี้ในส่วนของอะแดปเตอร์มักจะมีการติดตั้งตัวให้ความร้อนชุดวัดอุณหภูมิและความดันของพลาสติกหลอมที่ไหลเข้าสู่หัวคายน์

ง) ชุดรองรับแรงเนื่องจากความดันของพลาสติกหลอม (Thrust Bearing) การหมุนของสกรูทำให้เกิดความดันพลาสติกหลอมภายในกระบอก จึงต้องออกแบบให้กระบอกมีความหนาพอที่รองรับความดันที่เกิดขึ้นได้ ส่วนของสกรูด้านตรงกันข้ามจะเป็นส่วนที่รองรับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันในกระบอก ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันในกระบอก

จ) ระบบเกียร์ทดและมอเตอร์ขับ (Reduction Gear and Drive Motor) กำลังที่ใช้ในการขับให้สกรูหมุน ได้มาจากมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วของการหมุนได้โดยมอเตอร์จะต่อกับระบบเกียร์ทดและเพลาขับ เพื่อกำหนดความเร็วในการหมุน และทอร์กของสกรูอัตราเร็วของการหมุนสกรูในช่วง 5–150 ต่อนาที โดยทั่วไประบบเกียร์ทดและมอเตอร์ให้สกรูหมุนด้วยอัตราคงที่มีทอร์กสูงที่ทุกค่าของอัตราการหมุน และไม่มีการกระตุกของสกรูขณะทำการเปลี่ยนอัตราการหมุนอย่างต่อเนื่อง มอเตอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์แบบคอมมิวเตเตอร์ (Commutator Motor) และมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

ฉ) คายน์ของเครื่องเอกซ์ทรูด (Extrusion Dies) คายน์ของเครื่องเอกซ์ทรูดเป็นส่วนที่ยึดติดกับส่วนปลายของกระบอกต่อจากแผ่นเบรกเกอร์และตะแกรงกรอง คายน์ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลาสติกหลอมให้มีรูปร่างตามลักษณะของหัวคายน์ ซึ่งโดยทั่วไปชิ้นงานพลาสติกจากการเอกซ์ทรูดมีรูปร่างหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นคายน์ของเครื่องเอกซ์ทรูดจะมีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่

กับรูปร่างของชิ้นงานที่ทำการเอกซ์ทรูด ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของคายนี้ออกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต คือ เส้นใย แผ่นฟิล์ม ฟิล์มพลาสติก ท่อ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นโพรไฟล์ เป็นต้น

ข) กรวยเติมพลาสติก (Feed Hopper) อุปกรณ์ใช้เติมพลาสติกลงในกระบอกลูกและสกรู โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นกรวยเม็ดหรือผงพลาสติกที่ตกลงที่สกรูเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น ผิวภายในของกรวยเติมจะมีความมันเพื่อลดแรงเสียดทาน และมักจะมีควมชันมากพอที่จะให้พลาสติกไหลได้ เพื่อประสิทธิภาพในการใช้กรวยมักจะมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- ฝาปิด เพื่อใช้ในการป้องกันฝุ่นละอองและความชื้นเข้ามาปะปนกับพลาสติก
- มีหน้าต่างแก้วหรือพลาสติกใส สำหรับสังเกตระดับของวัสดุภายในกรวยเติม
- มีลิ้นที่ส่วนล่างของกรวยเติม เพื่อให้สามารถปิดและเปิดให้พลาสติกไหลและหยุดได้

ข) ชุดให้ความร้อนและหล่อเย็น การให้ความร้อนแก่พลาสติกที่อยู่ในกระบอกลูกทำได้โดยการให้ชุดตัวให้ความร้อนไฟฟ้าหุ้มรอบนอกกระบอกลูก แบ่งออกเป็นช่วง ๆ ประมาณ 4-6 ชุด ซึ่งตัวให้ความร้อนเหล่านี้จะต่อกับตัวควบคุม เพื่อให้สามารถปรับเพิ่มและลดอุณหภูมิของแต่ละช่วงได้อย่างอิสระ โดยทั่วไปตัวหล่อเย็นจะเป็นพัดลมเป่า (Blower) ซึ่งติดตั้งเป็นช่วงตามจำนวนช่วงของชุดให้ความร้อน นอกจากนี้ที่บริเวณคอ (Throat) ของกรวยเติมพลาสติกจะมีน้ำหล่อเย็นไหลตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อให้พลาสติกจับตัวกันเป็นก้อน กีดขวางเส้นทางการไหลลงสู่กระบอกลูก

2.3.5.2 หลักการทำงาน

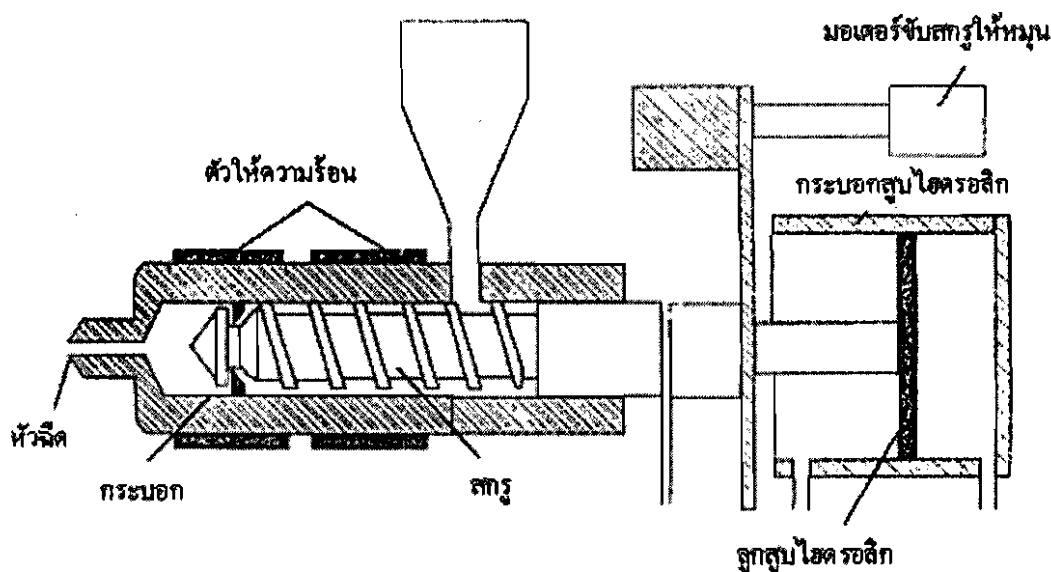
เมื่อเม็ดพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกถูกป้อนลงกระบอกลูกซึ่งมีสกรูอยู่ข้างในเม็ดพลาสติกจะหลอมเหลว และถูกผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยสกรูจากนั้นสกรูก็จะดันเนื้อพลาสติก หลอมเหลวไปสู่หัวคายน ซึ่งเส้นทางออกของเนื้อพลาสติกหลอมเหลวและพลาสติกที่ไหลออกมาจะมีรูปร่างตามแบบของหัวคายน

2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องฉีด (Injection Molding)

การฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ เป็นกระบวนการหลักในการผลิตชิ้นงานพลาสติกสำเร็จรูปและเป็นกระบวนการการแปรรูปพลาสติกที่สำคัญที่สุด เทคนิคการฉีดพลาสติกนอกจากใช้แปรรูปเทอร์โมพลาสติกแล้ว ยังนิยมใช้แปรรูปพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมเซตพอลิเมอร์เชิงประกอบของเส้นใยชนิดต่างๆ และอีลาสโตเมอร์ด้วย

2.4.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก มีส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ

1. ชุดหลอมและฉีดพลาสติก (Plasticating and Injection Unit)



รูปที่ 2.19 แสดงชุดหลอมและฉีดพลาสติก (Plasticating and Injection Unit)

2. ชุดปิดเปิดแม่พิมพ์ (Claming Unit)
3. ระบบควบคุมไฮดรอลิก และระบบไฟฟ้า (Hydraulics Controls and Electrical System)

สามารถสรุปหน้าที่หลักของอุปกรณ์ต่างๆ ในชุดหลอมเหลวและฉีดพลาสติกได้ดังนี้

1. ทำให้พลาสติกที่อยู่ในรูปเม็ดหรือผงหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียว เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจากตัวให้ความร้อน ที่ห่อรอบนอกกระบอกและความร้อนเนื่องจากการเสียดสีกันของสกรูกับพลาสติกและพลาสติกกับพลาสติก
2. ทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด หรือ ผงจากกรวยเติมพลาสติกลงในกระบอก เนื่องจากการหมุนของสกรูหลังจากส่งพลาสติกหลอมไปเก็บสะสมในช่องด้านหน้าสกรูเพื่อเตรียมการฉีด
3. ทำหน้าที่ในการเก็บสะสมพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ โดยการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของสกรูด้วยความเร็วสูง เพื่อป้องกันการแข็งตัวของพลาสติกขณะไหลผ่านตัวหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์
4. ทำหน้าที่ในการฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ โดยการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าสกรูด้วยความเร็วสูงเพื่อป้องกันการแข็งตัวของพลาสติกขณะไหลผ่านตัวหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์

5. ทำให้เกิดแรงดันยำ กล่าวคือหลังจากฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ ให้สกรูค้างอยู่ในตำแหน่งเดิมด้วยความดันเหมาะสม เพื่ออัดให้พลาสติกมีสมบัติเชิงกล และลดเคชการหดตัวของชิ้นงาน

กระบวนการฉีดพลาสติกแบ่ง เป็นขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 แม่พิมพ์ปิด ทำการเลื่อนแม่พิมพ์ทั้งสองซีกเข้ากันเพื่อปิดล็อกให้แน่นและแรงปิดต้องมากกว่าแรงจากการฉีด
- ขั้นตอนที่ 2 เลื่อนหัวฉีดเข้าหาแม่พิมพ์เลื่อนหัวฉีดจนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ แล้วค้างไว้ด้วยแรงดันที่เหมาะสม
- ขั้นตอนที่ 3 ฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ โดยการเคลื่อนตัวของสกรูในแนวนอน
- ขั้นตอนที่ 4 ระยะใช้แรงดันยำ (Holding Pressure Phase) เพื่อลดการหดตัวของชิ้นงาน
- ขั้นตอนที่ 5 หัวฉีดถอยกลับ เพื่อป้องกันไม่ให้หัวฉีดอุดตันมากเกินไป
- ขั้นตอนที่ 6 ป้อนพลาสติกหลอมเข้าในช่องว่างหน้าสกรู โดยสกรูจะหมุนรอบตัวเองดึงให้พลาสติกจากกรวยเดิมเข้ามาในกระบอกฉีด แล้วเคลื่อนตัวไปข้างหน้าพร้อมๆกันกับการหลอมแล้วสะสมในช่องว่างด้านหน้าของสกรู โดยที่รูของหัวฉีดทำให้เกิดแรงดันให้สกรูเกิด การถอยหลังกลับโดยอัตโนมัติ เมื่อได้ปริมาณพลาสติกหลอมที่เหมาะสมแล้วสกรูจะหยุดหมุน
- ขั้นตอนพิเศษ การหล่อเย็นเกิดขึ้นพร้อมๆกับการเริ่มขั้นตอนที่ 5 ต่อไปจนสิ้นสุดขั้นตอนที่ 6 แล้วหล่อเย็นต่อเวลาอีกระยะหนึ่ง การหล่อเย็นเป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุด
- ขั้นตอนที่ 7 ระยะถอดผลิตภัณฑ์พลาสติกออกจากแม่พิมพ์โดยการกระทุ้ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

1. เม็ดพอลิเอไมด์ (Nylon 6) ชื่อทางการค้า (Akulon) เกรด V – 2
2. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) เกรด STR 5L ของบริษัท ยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด

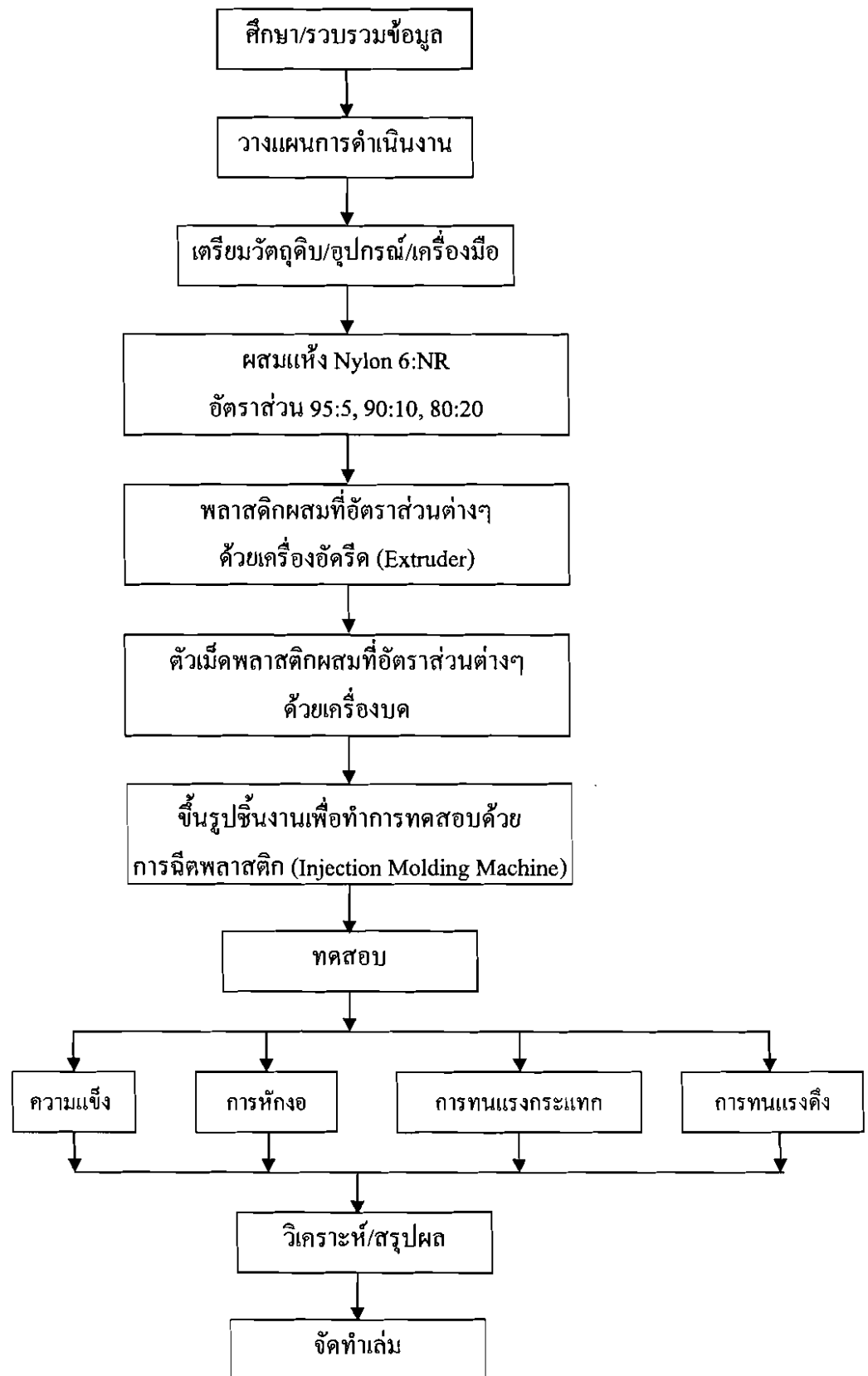
3.2 เครื่องมือทดสอบและเครื่องจักรที่ใช้

1. เครื่องทดสอบความแข็งแรง (Hardness Machine) PTC MACHINE รุ่น 307 L
2. เครื่องทดสอบการหักงอ(FlexibilityMachine) GOTECH TESTING MACHINES รุ่น QC – FMS – 01
3. เครื่องทดสอบการทนแรงกระแทก (Izod Impact Machine)
4. เครื่องทดสอบการทนแรงดึง (Tensile Strength Machine) LLOYD MACHINE รุ่น T30K
5. เครื่องอัดรีดพลาสติก (Extruder) AXON AB, MASKIN MACHINE รุ่น BX – 18
6. เครื่องผสมถังหมุนแบบกรวย (Chamber Mixer) BOSCO MACHINE รุ่น Mixer 50
7. เครื่องบดพลาสติก (Crusher) BOSCO MACHINE รุ่น 1820
8. เครื่องบดพลาสติก (Rapid Granulator) MASKIN AB RAPID MACHINE รุ่น 33010 Bredaryd
9. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) GREASE SUPPLY MACHINE รุ่น KM149 C
10. เครื่องอบเม็ดพลาสติก Q.C. APPROVAL MACHINE รุ่น ML – HD 100
11. เครื่องอัดพลาสติก (Compression Molding Machine) YUE CHIEH MACHINE รุ่น FC-50
12. เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดทศนิยม4 ตำแหน่ง METTLER MACHINE รุ่น AT 200

3.3 แผนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. วางแผนการดำเนินการวิจัย
3. จัดหาวัตถุดิบทั้ง อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ
4. ทำการผสมเม็ดไนลอน 6 กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 95:5, 90:10 และ 80:20 ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสมถังหมุนแบบกรวย
5. การเตรียมขึ้นรูปพลาสติกผสมด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) และตัดเม็ดด้วยเครื่องบดเม็ด
6. ขึ้นรูปพลาสติกผสม (จากข้อ 5) เพื่อนำไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆด้วยกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine)
7. ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

- 7.1 ทดสอบความแข็งแรง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 – 86
- 7.2 ทดสอบการหักงอ (Flexibility) ตามมาตรฐาน ASTM D 671 – 93
- 7.3 ทดสอบการทนแรงกระแทก (Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D 256-97
- 7.4 ทดสอบแรงดึง (Tensile) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84
- 8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ
- 9. จัดทำรายงานและเสนอผลงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการเตรียมพลาสติกผสม โดยวิธีการอัดรีด (Extrusion)

- 1. นำเม็ด Nylon 6 กับ ขางธรรมชาติ มาผสมด้วยเครื่องตัวหมุนแบบกรวยเป็นเวลา 20 นาที มีอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 95:5, 90:10 และ 80:20 เปอร์เซนต์ตามลำดับ
- 2. ทำการเปิดเครื่อง Extruder เพื่อทำการอุ่นเครื่องไว้ก่อน โดยตั้งอุณหภูมิของ Heater ที่ระดับต่ำๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3. ตรวจสอบพลาสติกชนิดอื่นที่อาจค้างอยู่ในบารเรล (หากพบพลาสติกที่ค้างอยู่ให้กำจัดออกให้หมดก่อน) โดยการปรับสกรูเพื่อให้พลาสติกที่ค้างอยู่ภายในไหลออกมาจากคายน จากนั้นเติมพลาสติกตามสูตรที่ผสมไว้ลงในกรวยเดิม เพื่อไล่พลาสติกที่ค้างอยู่ภายในบารเรล สังเกตดูพลาสติกที่ค้างอยู่ถูกไล่ออกมาจนหมด
- 4. ปรับตั้งอุณหภูมิที่ Heate ในแต่ละโซนให้เหมาะสมดังตารางที่ 3.1
- 5. พลาสติกค่อยๆผ่านออกจากหัวคายนผ่านน้ำหล่อเย็น ได้เป็นเส้นยาวต่อเนื่อง
- 6. จากนั้นนำมาตัดเม็ดด้วยเครื่องบดหยาบ (Crusher) และเครื่องบดละเอียด (Rapid) ตามลำดับเสร็จสิ้นขั้นตอนการเตรียมเม็ดพลาสติกผสม

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสถานะในกระบวนการวิธีการอัดรีด [1]

อุณหภูมิ (°C)					แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแส (A)
Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5		
195	200	205	210	215	60	2.3

หมายเหตุ อัตราส่วน Nylon 6:NR ทั้ง 3 อัตราส่วนใช้สถานะเดียวกัน ดังตาราง 3.1

3.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแบบฉีด (Injection Molding)

เป็นการเตรียมชิ้นงานด้วยการขึ้นรูปแบบฉีด เพื่อนำไปใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าทนแรงดึง (Tensile) ค่าทนแรงกระแทก (Izod Impact) เป็นต้น

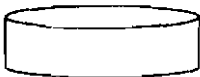
นำเม็ดพลาสติกผสมที่อัตราส่วนต่าง (จากขั้นตอน 3.4) มาอบไล่ความชื้นก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขณะเดียวกันเปิดเครื่องฉีด เพื่อทำการอุ่นเครื่องเปิดเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเทเม็ดพลาสติกผสม (ที่อบไล่ความชื้น) เเทลงในกรวยเดิมและตั้งอุณหภูมิที่ Heater ในแต่ละโซนให้เหมาะสม โดยสถานะที่ใช้ในการฉีดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบฉีด [1]

อุณหภูมิ (°C)				ความเร็วสกรู (รอบ/นาที)	แรงปิดแม่พิมพ์ (KN)	เวลาหล่อเย็น (วินาที)
Barrel Rear	middle	Barrel Front	Nozzle			
215	220	230	235	260	145	40

หมายเหตุ พลาสติกผสมทั้ง 3 อัตราส่วน ใช้สภาวะการฉีดเหมือนกัน
สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบมีดังนี้

- 1. ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง (Shore Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240-86



- 2. ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหักงอ (Flexing) ตามมาตรฐาน ASTM D 671 – 93



แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานเป็นลักษณะของพื้นรองเท้ากีฬา

- 3. ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนแรงกระแทก (Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D 265-84



นำชิ้นงานทดสอบ (จากข้อ 3.4) ขนาดกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 63.5 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร ทำรอยบากบนหน้าตัดส่วนที่แคบของชิ้นงานทดสอบและอยู่ในบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ขนาดของมุมโดยทั่วไปจะทำมุม 45° ความลึกรอยบาก เท่ากับ 3.54 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องบากชิ้นงาน

4. ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงดึง (Tensile) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84



3.6 วิธีการทดสอบ

3.6.1 การทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 - 86

สภาวะการทดสอบ

- ชิ้นงานทดสอบ (เตรียมจากข้อ 3.5)
- ความหนาของชิ้นงานประมาณ 2 มิลลิเมตร (มาตรฐานกำหนดไว้ 3 มิลลิเมตร)
- อุณหภูมิทดสอบที่ 23 องศาเซลเซียส
- เครื่องวัดเป็น Type D Durometer Hardness น้ำหนักกด 1 กิโลกรัม
- นำชิ้นงานทดสอบวางบนพื้นราบให้สัมผัสแนบพื้นมากที่สุด ใช้มือหนึ่งกดชิ้นงาน อีกมือหนึ่งกดน้ำหนัก (1 Kg) ลงบริเวณทดสอบ อ่านค่าที่ได้จากการกดทำซ้ำ 3 ครั้งต่อ 1 ชิ้นงาน

3.6.2 การทดสอบการหักงอโดยวิธี (Flexing) ตามมาตรฐาน ASTM D 671 – 93

ชิ้นงานทดสอบ เตรียมจากข้อ 3.5

- อุณหภูมิทดสอบ -6 องศาเซลเซียส
- จำนวนการหักงอ (ครั้ง)

นำชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเรียบร้อยแล้ว ใส่ในเครื่องทดสอบที่ตั้งอุณหภูมิ และจำนวนครั้งของการหักงอไว้แล้วขันตัวล็อกชิ้นงานให้แน่น จากนั้นเริ่มทำการทดสอบ ถ้าพื้นรองเท้าแตกออกก่อนจำนวนรอบที่กำหนด ให้หยุดเครื่องและบันทึกจำนวนครั้งของการหักงอ

3.6.3 ทดสอบการทนแรงกระแทก (Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D 265-84

นำชิ้นงานทดสอบ (จากข้อ 3.5) วางชิ้นทดสอบที่มีความลึกของรอยบากตามมาตรฐานที่เตรียมไว้ โดยให้ตรงมุมแหลมของรอยบากอยู่ตรงตำแหน่งของตัวจับชิ้นงานปล่อยค้อนตีชิ้นทดสอบ และให้แกว่งผ่านไปอย่างอิสระ ถ้าชิ้นทดสอบไม่แตกให้เพิ่มน้ำหนักของค้อนทำการทดสอบซ้ำจนได้ชิ้นงานที่แตกหักอ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตก หลังจากค้อนตกลงไปกระแทกชิ้นงาน ยกค้อนขึ้นในตำแหน่งเดิม นำค่าพลังงานที่ได้มาคำนวณในหน่วย จูล/ตารางเมตร (J/m^2) และ จูล/เมตร (J/m)

สูตรคำนวณ	$W_F = W_0 + [\Delta W (A/N - 1/2)]$
เมื่อ	W_F = ค่ามวลที่ทำให้ชิ้นงานเสีย หน่วยกรัม
	W_0 = ค่ามวลต่ำสุดในหน่วยที่ทำให้แผ่นฟิล์มพลาสติกเสีย 100 %
	ΔW = ค่ามวลคงที่ที่เพิ่มขึ้นหรือลด
	A = ผลรวมของ (จำนวนแตกทะลุคูณด้วยลำดับการแตกทะลุ)
	N = ผลรวมของจำนวนแผ่นฟิล์มที่มีการแตกทะลุ 100 %

3.6.4 ทดสอบการทนแรงดึง (Tensile) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84

นำชิ้นงานทดสอบ(จากข้อ 3.5) เตรียมชิ้นงานโดยการฉีดขึ้นรูป(Injection molding) ขนาดของชิ้นงานเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 ทำการจับยึดชิ้นงานทดสอบเข้ากับที่จับยึดชิ้นงานทดสอบ (grip) ให้แน่นพอดีไม่ให้ชิ้นงานหลุดออกระหว่างที่เครื่องทำงาน เริ่มเดินเครื่องโดยใช้ความเร็วในการทดสอบ 50 มิลลิเมตร/นาที รอจนกระทั่งชิ้นงานถูกยึดจนขาดนำผลที่ได้จากเครื่องมาคำนวณหาค่าการทนแรงดึง

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการเตรียมพลาสติกผสม โดยวิธีการอัดรีด (Extrusion)

จากเม็ดพลาสติก Nylon 6 มีลักษณะเม็ดกลมเล็ก สีขาว แข็ง และยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นก้อน เหนียว นุ่ม สีน้ำตาล นำไนลอน 6 กับยางธรรมชาติมาผสมแห้งที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 95:5, 90:10 และ 80:20 เปรอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดพลาสติก (Extruder) แบบสกรูเดี่ยว ได้ลักษณะเป็นเส้นยาวที่มีความต่อเนื่อง พบว่าที่อัตราส่วนยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ทำให้สีพลาสติกผสมที่ได้เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ เมื่อได้พลาสติกผสมที่เป็นเส้นยาวต่อเนื่องแล้ว นำไปเข้าเครื่องตัดเม็ด เพื่อนำไปทำการขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป

4.2 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแบบฉีด (Injection Molding)

นำเม็ดพลาสติกผสมอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 95:5, 90:10 และ 80:20 เปรอร์เซ็นต์ตามลำดับ มาผ่านกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยสภาวะที่ใช้ในการฉีดดังตารางที่ 3.2 เพื่อใช้เป็นชิ้นงานทดสอบความแข็ง ทดสอบการหักงอ ทดสอบความทนแรงกระแทกและทดสอบการทนแรงดึงพบว่าได้ผลดังนี้

4.2.1 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง (Shore Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240-86

จากรูปที่ 4.1 แสดงชิ้นงานทดสอบความแข็ง (Shore Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240-86 พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปมีสีขาว ผิวเรียบ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน รูปร่างตรงตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 4.1 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง (Shore Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240-86

4.2.2 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหักงอ (Flexing) ตามมาตรฐาน ASTM D 671 – 93

สำหรับชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการหักงอ (Flexing) ตามมาตรฐาน ASTM D 671 – 93 ทำการขึ้นรูปเป็นพื้นรองเท้ากีฬา ในชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการหักงอนั้น แบ่งเป็น 2 แบบ คือ ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการหักงอแบบมีผ้ารองและชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการหักงอแบบไม่มีผ้ารอง

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการหักงอแบบมีผ้ารองและชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการหักงอแบบไม่มีผ้ารอง ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหักงอแบบไม่มีผ้ารอง (Flexing)

ตามมาตรฐาน ASTM D 671 – 93



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหักงอแบบมีผ้ารอง (Flexing)

ตามมาตรฐาน ASTM D 671 – 93

4.2.3 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนแรงกระแทก (Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D 265-84

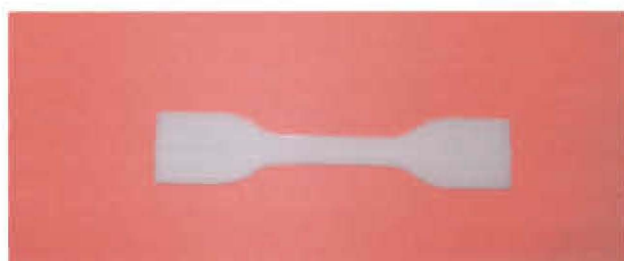
จากรูปที่ 4.4 แสดงชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนแรงกระแทก (Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D 265-84 พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปมีสีขาว ผิวเรียบ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน รูปร่างตรงตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 4.4 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนแรงกระแทก (Izod Impact)
ตามมาตรฐาน ASTM D 265-84

4.2.4 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงดึง (Tensile) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84

จากรูปที่ 4.5 แสดงชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงดึง (Tensile) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84 พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปมีสีขาว ผิวเรียบ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน รูปร่างตรงตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 4.5 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงดึง (Tensile) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84

4.3 ผลการทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 - 86

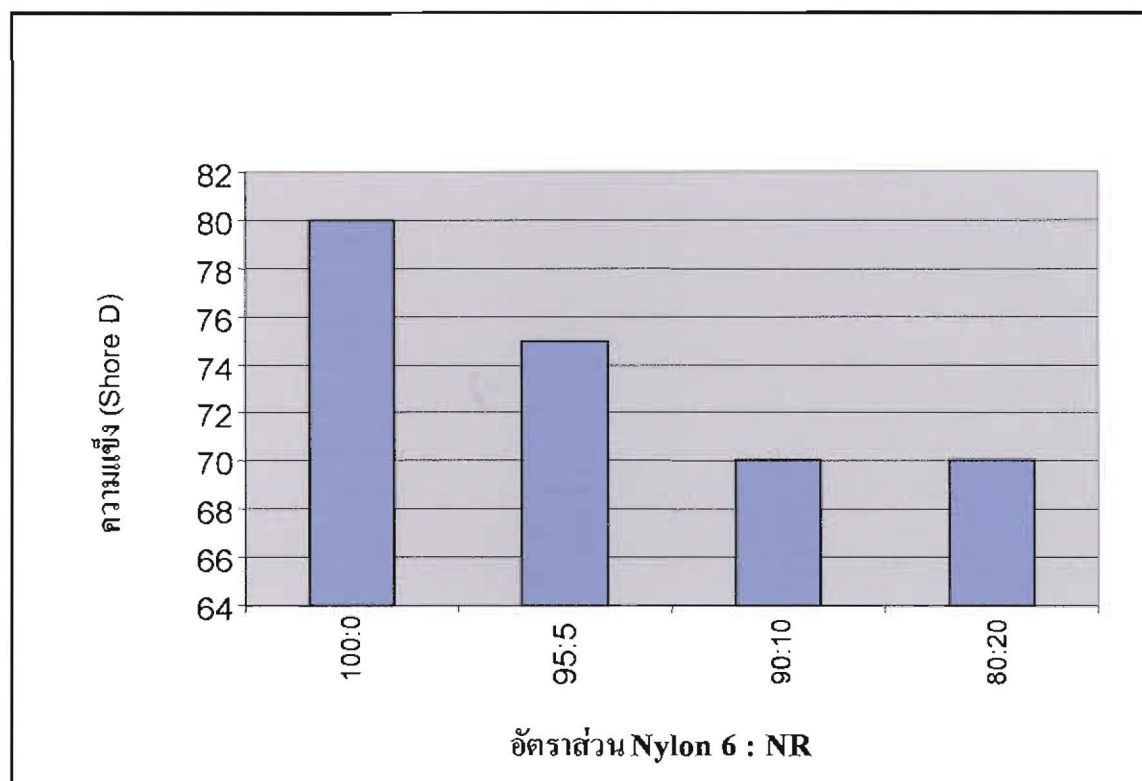
นำชิ้นงานทดสอบระหว่างไนลอน 6 กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 95:5, 90:10 และ 80:20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มาทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 - 86 พบว่าได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness ตามมาตรฐาน ASTM D 2240-86

อัตราส่วน Nylon 6 : NR	ค่าความแข็ง
100:0	80D
95:5	75D
90:10	70D
80:20	70D

หมายเหตุ Nylon 6 คือ ไนลอน 6 และ NR คือ ยางธรรมชาติ

นำผลการทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 - 86 จากตารางที่ 4.1 มาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ กัน แสดงดังรูปที่ 4.6

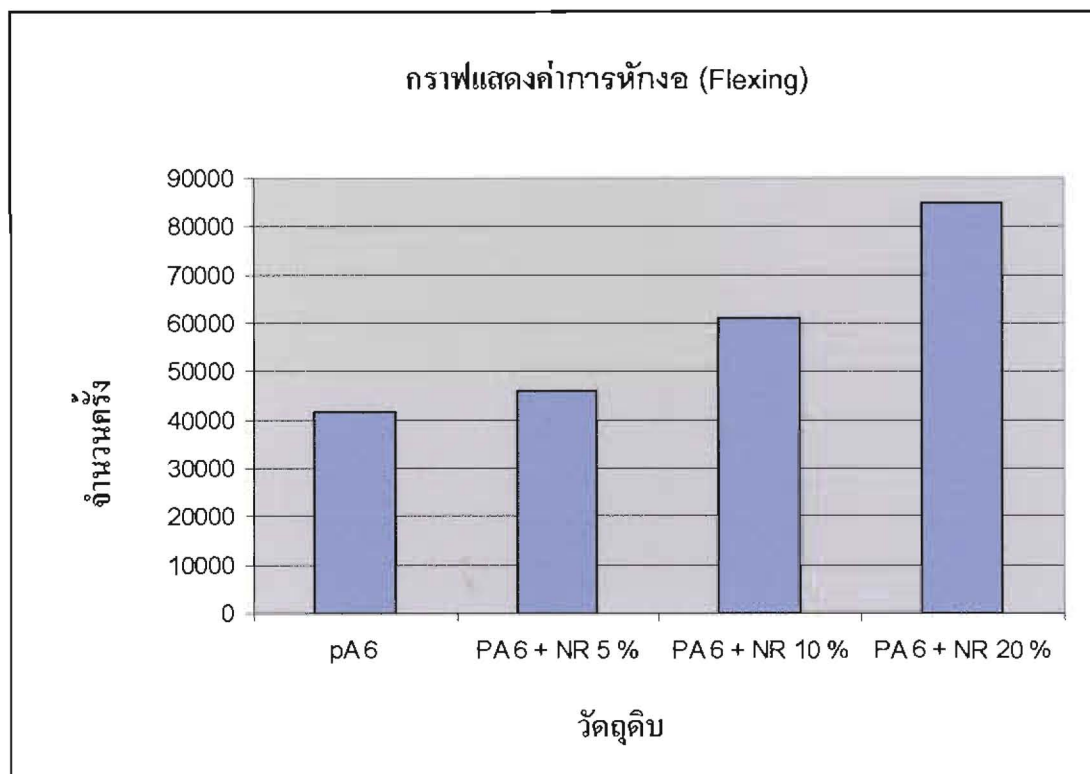


รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 – 86 ของ ชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ กัน

จากการผลทดสอบความแข็งโดยวิธี Shore Hardness พบว่าชิ้นงานทดสอบที่ไนลอน 6 มีปริมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ให้ค่าความแข็งที่ 80D รองลงมาเป็น Nylon 6:NR ผสมกับ NR 5% ที่ระดับความแข็ง 75 D รองลงมาคือ Nylon 6 ผสมกับ NR 10% และ Nylon 6 ผสมกับ NR 20% ที่ระดับความแข็ง 70 D มีระดับความแข็งต่ำสุด

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุผสมมีค่าที่ใกล้เคียงกันโดยจะอยู่ในช่วง 75-70 D สาเหตุนี้เกิดขึ้นจากการที่ได้มีการผสมยางลงไปไนอัตราส่วนที่มีปริมาณมากขึ้น ซึ่งยางมีสมบัติความยืดหยุ่นสูงเนื่องจากพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมลดลง

4.4 ผลการทดสอบค่าการหักงอ (Flexing ASTM D 671-93)



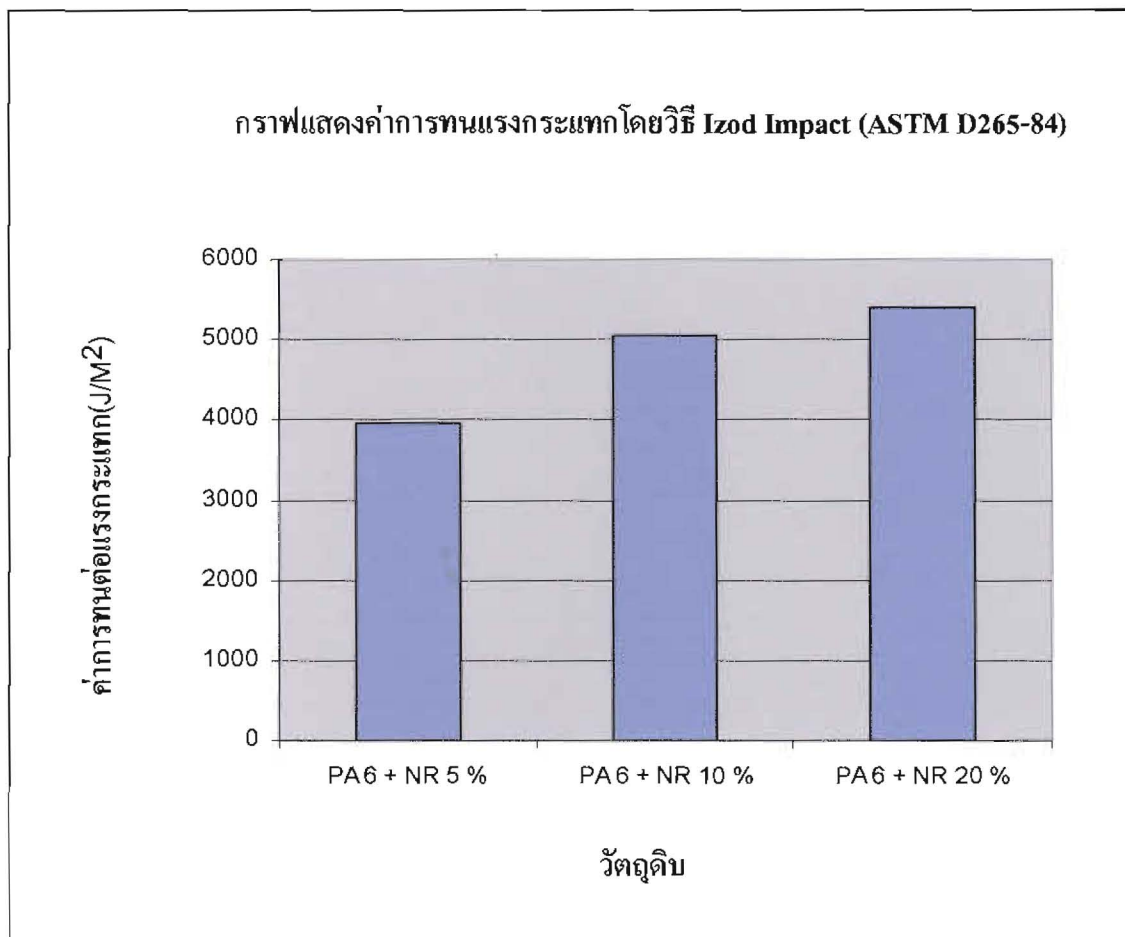
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการหักงอ (Flexing)

วิเคราะห์ผลการทดลองการหักงอ (Flexibility tests)

จากการทดสอบการหักงอ Flexing พบว่า Nylon 6 (80%) ผสมกับยางธรรมชาติ 20% ให้ค่าความต้านทานการฉีกขาดที่เกิดจากการพับงอได้สูงสุดที่ 85,000 ครั้ง รองลงมาคือ Nylon 6 ผสมกับยางธรรมชาติ 10% ที่ 61,000 ครั้ง และรองลงมาคือ Nylon 6 ผสมกับยางธรรมชาติ 5% ที่ 46,000 ครั้ง มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ความยืดหยุ่นสูงขึ้น เนื่องจากสมบัติของยางธรรมชาติโมเลกุลนั้นจะสามารถยืดตัวได้ 500-800 เปอร์เซ็นต์จากขนาดปกติ ซึ่งเนื่องจากสมบัติเด่นทางด้านนี้ทำให้ช่วยเสริมให้ไนลอน 6 ที่ผสมกับยางธรรมชาติ 20% มีค่าการหักงอได้มากที่สุดและในปริมาณยางธรรมชาติที่เข้าไปแทรกตัวอยู่กับไนลอน 6 ในปริมาณที่มากทำให้ไนลอน 6 ลดความกระด้างลงมาได้จึงสามารถทนต่อการหักงอได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนอื่นๆ

จากมาตรฐานการหักงอของพื้นรองเท้า นั้น พลาสติกจะต้องทนต่อการหักงอไม่น้อยกว่า 80,000 ครั้ง ก่อนที่จะแตกหัก ดังนั้น จากผลการทดลองพบว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนผสมของไนลอน 6 เท่ากับ 80% และยางธรรมชาติ 20% มีค่าความต้านทานการฉีกขาดที่เกิดจากการพับงอได้สูงสุดที่ 85,000 ครั้ง ทำให้เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

4.5 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก Izod Impact (ASTM D265-84)



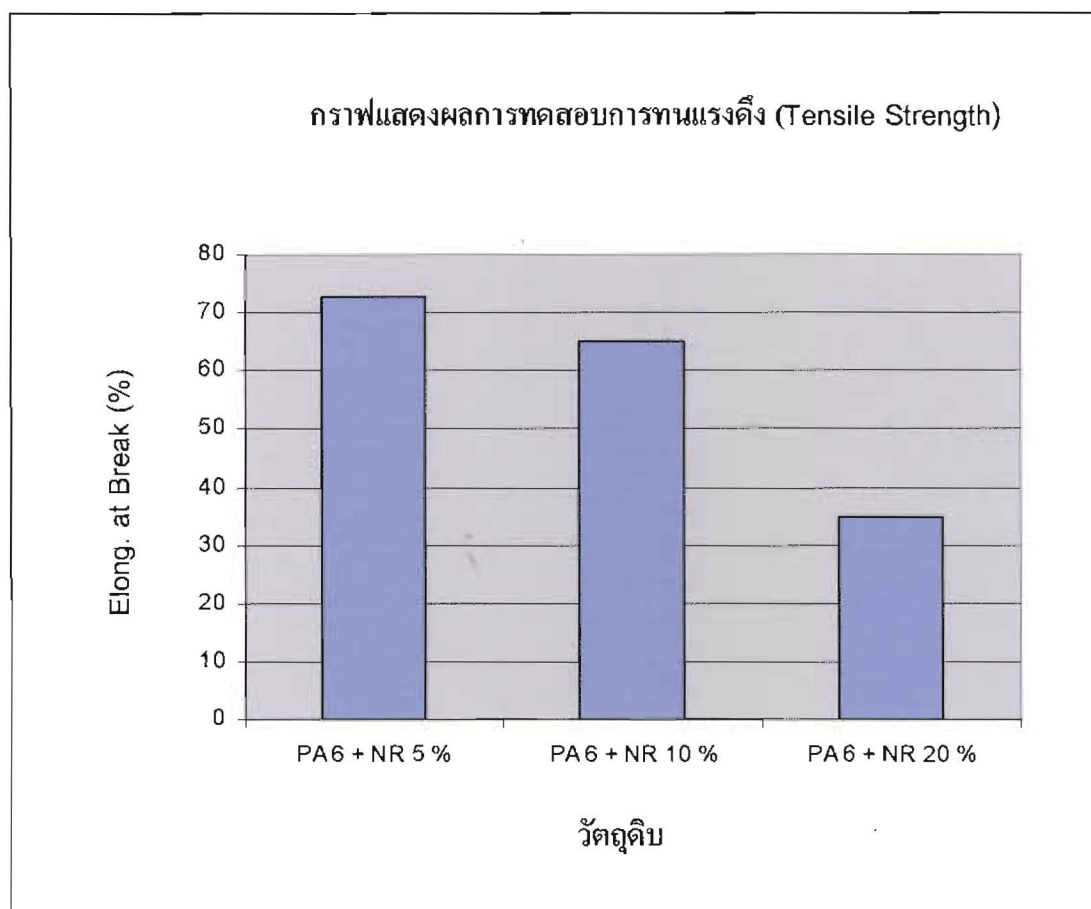
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการทนต่อแรงกระแทก Izod Impact

วิเคราะห์ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact tests)

จากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก Izod Impact พบว่าที่ Nylon 6 ผสมกับ NR20% ให้ค่าการรับแรงกระแทกได้มากที่สุดที่ 5398 J/m² รองลงมาคือ Nylon 6 ผสมกับ NR10% ที่ 5060 J/m² และรองลงมาคือ Nylon 6 ผสมกับ NR5% ที่ 3954 J/m² มีค่าต่ำที่สุด

พิจารณาจากผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกที่ Nylon 6 ผสมกับ NR20% ให้ค่าการรับแรงกระแทกได้มากที่สุดนั้นเกิดจากการที่มียางผสมอยู่ในปริมาณที่มากที่สุดและยางมีสมบัติทางด้านการรับแรงกระแทกได้ดี เนื่องจากการที่พันธะคู่ในโมเลกุลและการที่ยางธรรมชาติมีพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลจากการทำวัลคาไนซ์บางส่วน จึงทำให้ Nylon 6 ที่ผสมกับ NR20% มีค่าการรับแรงกระแทกได้ดีที่สุด

4.6 ผลการวัดค่าการทนแรงดึงโดยวิธี Tensile Strength (ASTM D638-84)



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการทนแรงดึงโดยวิธี Tensile Strength

วิเคราะห์ผลการทดลองการทนต่อแรงดึงโดยวิธี Tensile Strength

จากการทดสอบการทนต่อแรงดึงโดยวิธี Tensile Strength พบว่าที่ Nylon 6 ผสมกับ NR5% ให้ค่าการทนต่อแรงดึงได้มากที่สุดที่ 72 % รองลงมาคือ Nylon 6 ผสมกับ NR10% ที่ 64% และรองลงมาคือ Nylon 6 ผสมกับ NR20% ที่ 34% มีค่าน้อยที่สุด

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระทำที่ Nylon 6 ผสมกับ NR5% ให้ค่าการรับแรงกระทำได้มากที่สุดนั้นเกิดจากการที่ไนลอน 6 เป็นวัสดุวิศวกรรมมีการจัดเรียงตัวที่ดีของโครงสร้างโมเลกุลและมีการยึดตัวออกด้วยแรงดึงที่ต่อเนื่องทำให้มีการยึดตัวออกได้มากที่สุด และที่ Nylon 6 ผสมกับ NR10% และ Nylon 6 ผสมกับ NR20% มีค่าการยึดตัวที่น้อยเพราะว่า Nylon 6 ผสมกับ NR ไม่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เมื่อเกิดการดึงยืดพอลิเมอร์ที่เกิดการผสมกันเกิดมีการแยกเฟสออกจากกันได้ง่ายกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมกัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของยางธรรมชาติในพอลิเมอร์ผสมทำให้ค่าความต้านทานต่อการพับงอ (Flexibility) และค่าการทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) ที่สูงขึ้น ในขณะที่ค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ลดลงอยู่ภายในมาตรฐานที่ยอมรับได้สำหรับการประยุกต์ใช้กับพื้นรองเท้ากีฬา แต่ปัญหาของการเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติในการผสมกับพอลิเอไมด์ (ไนลอน 6) คือวัสดุทั้งสองชนิดมีความสามารถในการผสมเข้ากันได้ไม่ดี และปัญหาของอุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมตัวฟลัก (Melting temperature) ของไนลอน 6 มาก วัสดุ 2 ชนิดจะแยกเฟสหลังจากขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จึงเห็นว่าการผสมยางธรรมชาติที่ปริมาณ 20% เป็นสถานะที่สามารถผสมได้ในความเข้มข้นที่สูงที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การทดสอบของงานวิจัยในครั้งนี้ มีการทดสอบสมบัติทางเชิงกล 4 การทดสอบ คือ

1. ผลการทดสอบการหาค่าความแข็ง (Shore D ASTM D 2240 - 86)
2. ผลการทดสอบค่าการหักงอ (Flexing ASTM D 671 – 93)
3. ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก Izod Impact (ASTM D265-84)
4. ผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงโดยวิธี Tensile Strength (ASTM D638-84)

สรุปผลการวิจัยและผลการทดสอบได้ดังนี้

1. การผสมในลอน 6 และยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) ซึ่งหากสามารถใช้เครื่องผสมที่มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้ เช่น ใช้เครื่องผสมแบบอัดรีดสกรูคู่ (Twin screw extruder) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพลาสติกผสมทำให้เหมาะต่อการนำไปขึ้นรูปพื้นรองเท้ากีฬา

2. การทดสอบความแข็งผลปรากฏว่า Nylon 6 ผสม NR5% มีค่าสูงสุด คือ 75D และค่าความแข็งต่ำที่สุดคือ Nylon 6 ผสมกับ NR 10%และ Nylon 6 ผสมกับ NR 20% ที่ระดับความแข็ง 70 D ทั้งนี้ความแข็งขึ้นอยู่กับปริมาณของ Nylon 6 ในพลาสติกผสม พบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Nylon 6

3. การทดสอบการหักงอ (Flexibility tests) ผลปรากฏว่า Nylon 6 ผสม NR20% มี ค่าสูงที่สุดที่ทำการทดสอบได้ คือ 85,000 ครั้ง และค่า Flexing ต่ำที่สุดคือ Nylon 6 ผสม NR5% มีค่า 41,000 ครั้ง

4. การทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกผลปรากฏว่า Nylon 6 ผสม NR20% มีค่าการทนต่อแรงกระแทกสูงสุด คือ 5398 J/m² และค่าการทนต่อแรงกระแทกต่ำที่สุดคือ Nylon 6 ผสม NR5% มีค่า 3954 J/m² การเติมยางธรรมชาติในพอลิเมอร์ผสมทำให้ค่าการรับแรงกระแทกสูงขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่น แต่การผสมยางธรรมชาติในปริมาณที่มากกว่า 20% มีปัญหาในเรื่องของการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าผลิตภัณฑ์เกิดการแยกเฟส

5. การทดสอบค่าการทนแรงดึงผลปรากฏว่า Nylon 6 ผสม NR5% มีค่าสูงสุด คือ 72 %และค่าการทนแรงดึงต่ำที่สุดคือ Nylon 6 ผสม NR20% มีค่า 34%

จากการสรุปผลการทดลองทั้ง 4 การทดสอบสมบัติเชิงกลนั้นได้นำผลของแต่ละตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับองค์ประกอบที่ต้องการเป็นหลักแล้ว สรุปได้ว่า Nylon 6ผสม NR20% นั้นเป็น

สถานะที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพื้นรองเท้ากีฬา แต่สาเหตุของการผสมยางธรรมชาติในปริมาณที่มากมีปัญหาในเรื่องของการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าผลิตภัณฑ์เกิดการแยกเฟส ส่งผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก สมบัติความยืดหยุ่นหรือสมบัติการหักงอ (Flexibility) รวมทั้งการทนต่อแรงดึง

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีแผนงานในการดำเนินงานวิจัยต่อ เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเพื่อทดแทนการนำเข้าพลาสติกผสมที่มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยมีการวางแผนในการปรับปรุงผลงานวิจัยที่ได้ศึกษามาแล้วในรายงานวิจัยนี้ ดังนี้

1. การทดสอบผลของการเติม Compatibilizer ลงในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม Nylon 6 และ NR20% และในปริมาณอัตราส่วนของยางธรรมชาติที่มากกว่า 20% เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผสมกันของวัสดุทั้งสองชนิด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติทำให้ค่าการยืดหยุ่นสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการหักงอและสมบัติการทนต่อแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้น และสามารถหาสถานะที่เหมาะสมที่สุด
2. ศึกษาสถานะการขึ้นรูปพื้นรองเท้าจากพอลิเมอร์ผสม เพื่อให้ได้สถานะที่ดีที่สุดที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบฉีด
3. การทดสอบการใช้ยางธรรมชาติชนิดและรูปแบบต่างๆ เช่น ยางผง ที่จะสามารถนำไปใช้ในการฉีดขึ้นรูปโดยการผสมแห้ง (Dry blend) โดยไม่ต้องผ่านการผสมและตัดเม็ดโดยใช้เครื่องผสมแบบอัดรีด (Extruder) ซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

1. ชาญณรงค์ พุ่มทนนท์, ทศปกร หาสุยา, นิพิท ลีนะธรรม, สมหมาย ผิวสอาด, ณรงค์ชัย โอเจริญ, ปริญญาณิพนธ์ การพัฒนาพลาสติกผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาพื้นแข็ง, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2546.
2. อรุษา สรวารี, 2546, สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1 – 4.
3. พิชิต เลียมพิพัฒน์, พลาสติกวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร, บริษัท พาณิชพระนคร (2535) จำกัด, 2538, หน้า 15 – 17.
4. ปรีชา พหลเทพ, พอลิเมอร์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, พิมพ์ครั้งที่ 8, 2540
5. วราภรณ์ ขจรไชยกุล, เทคโนโลยียางสังเคราะห์ เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียางธรรมชาติ, สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร, 2542
6. เอกสารประกอบการสอนวิชา 04-810-329 Plastics Testing and Analysis, ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
7. Campbell, Ian M. 2000 **Introduction to Synthetic Polymers**, New York: Oxford University Press.
8. Chanda, Manas 2000 **Advanced Polymer Chemistry**, Marcel Dekker, Inc.
9. Berlins, Michael L. 1991 **Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry**, New York: Van Nostrand Reinhold Inc.
10. Inberg, J., and Gaymans, P. F. 2002 “Co-continuous polycarbonate/ABS blends.” **Polymer**. vol. 43, 2425-2434.
11. Meislich, Herbert, Nechamkin, Howard, Sharefkin and Jacob 1997 **Organic Chemistry**, New York: McGraw-Hill Companies, Inc
12. R.J. Crawford, Plastics Engineering -3rd ed., Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 1998
13. N.G Mc Crum, C.P. Buckley, and B. Bucknall, Principles of Polymer Engineering. New York, 1998.
14. K.J. Saunders Organic Polymer Chemistry London: Chapman and Hall, 1973.
15. R.B. Seymour. Introduction to Polymer Chemistry Tokyo: Mc Graw-Hill Kogakusha Ltd, 1971.

16. A Gonzalez-Montiel, H. Keskkula and D.R. Paul, Department of Chemical Engineering and Center for Polymer Research, The University of Texas at Austin, Austin TX 78712 USA.
 17. Olagokr Olabisi, Handbook of thermoplastics (Marcel Dekker, Inc); 41 TP 1180, T5H36 1997.
 18. K. Hatada, RB Fox, J Kahovec, E Marechal, I Mita, V. Shibaev. Pure Appl Chem 68(12): 2313-2323, 1996.
 19. W. Schnabel. Polymer Degradation: Principles and Applications. Berlin: Akademie Verlag 1981; Polymer Eng. Sci 20: 688, 1980.
 20. J.A. Brydson, Plastics Materials. A Division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd., 1996.
 21. F.N. Gogswell, Polymer Melt Rheology, Geo. Godwin, London (1981).
 22. A. Whelan and J.P Goff, Paper presented to the PRI Mouldmaking' 86 Conference at Solihull, England January 1986.
 23. R.L/ Davidson and M. Sitting. Water-soluble. Resins, Reinhold, New York (1962).
 24. R.K. Freidlina and S.A. Kraapetyan, telomeization and New Synthetic Materials, Pergamon Oxford (1961).
 25. L. Mandelkern, Crystallization of Polymer, Mc Graw-Hill. New York (1964).
 26. T.R. Crompton, Manual of plastics analysis, Plenum Press, New York (1998).
 27. A. Brent Strong, Plastics and Processing, by Prentice-Hall Inc (1996).
 28. J.A., Brydson, Handbook for Plastics Processors, Oxford, UK: Heine mann Newnes, (1990).
 29. Charrier, Jean-Michel, Polymeric Materials and Processing, Munich: Hanser Publishers, (1991).
 30. L. Allan, Griff, Plastics Extrusion Operating Manual, Bethesda, MD: Edison Technical Services, (1990).
 31. Chris Rauwendaal, SPC. Statistical Process Control In Injection Molding and Extrusion, Carl Hanser Verlag, Munich (2000).
 32. B. Joseph, Dym, Injection Molds and Molding A Pratical Mancal Injection Molding of plastics by Nostrand Reinhold (1987).
-

ภาคผนวก ก
แสดงภาพวัตถุดิบและขั้นตอนทดสอบโครงการ



รูปที่ ก-1 Nylon 6



รูปที่ ก-2 NR



รูปที่ ก-3 Dry blend



รูปที่ ก-4 พลาสติกผสมที่ออกจากหัวคายน์แล้วผ่านกระบวนการหล่อเย็น



รูปที่ ก-5 พลาสติกผสมจากกระบวนการหล่อเย็นลำเลียงผ่านสายผ่านเพื่อรอให้แห้ง



รูปที่ ก-6 พลาสติกผสมจาก Extruder



รูปที่ ก-7 พลาสติกผสมจาก Extruder ที่ผ่านการตัดเป็นเม็ดแล้ว



รูปที่ ก-8 ชิ้นงานที่ฉีดพร้อมผ้าเพื่อทดสอบค่าการหักงอ



รูปที่ ก-9 ชิ้นงานทดสอบค่าการหักงอ



รูปที่ ก-10 พื้นรองเท้าที่นำไปประกอบในรองเท้ากีฬา



รูปที่ ก-11 ส่วนประกอบในรองเท้าของจีนงาน

ภาคผนวก ข
แสดงภาพเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการดำเนินงาน
และตารางผลการทดสอบ



รูปที่ ข – 1 เครื่องผสม High speed



รูปที่ ข – 2 เครื่องอัดรีดพลาสติก



รูปที่ ข – 3 ชุดควบคุมเครื่องอัดรีดพลาสติก



รูปที่ ข – 4 สายพานลำเลียง Extruder



รูปที่ ข – 5 เครื่องบดพลาสติก (Crusher)



รูปที่ ข – 6 เครื่องอบเม็ดพลาสติก



รูปที่ ข-7 เครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน (1)



รูปที่ ข-9 แม่พิมพ์ขึ้นงานพื้นรองเท้า



รูปที่ ข - 10 เครื่องทดสอบความแข็งแรง (Hardness)



รูปที่ ข - 11 เครื่องทดสอบการยืดหยุ่น (Flexibility)

ตารางผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทก (Izod Impact ASTM D265-84)
ที่อัตราส่วนผสมไนลอน 6:ยางธรรมชาติ เท่ากับ 90:10

ตัวอย่างที่	Energy (J)	ค่าการทนแรงกระแทก (E / 0.00635) J/m
1	0.308	48.50
2	0.316	49.76
3	0.392	61.73
4	0.384	60.47
5	0.384	60.47
6	0.368	57.95
7	0.308	48.50
8	0.316	49.76
9	0.380	59.84
10	0.380	59.84

Average = 50.60 J/m

ตารางผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทก (Izod Impact ASTM D265-84)

ที่อัตราส่วนผสม ในตอน 6 : ยางธรรมชาติ เท่ากับ 95 : 5

ตัวอย่างที่	Energy (J)	ค่าการทนแรงกระแทก (E / 0.00635) J/m
1	0.218	34.33
2	0.256	40.31
3	0.292	45.98
4	0.264	41.57
5	0.244	38.42
6	0.268	42.20
7	0.218	34.33
8	0.236	37.16
9	0.280	44.09
10	0.260	40.94

Average = 39.93 J/m

ตารางผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทก (Izod Impact ASTM D265-84)
ที่อัตราส่วนผสมในลอน 6 : ยางธรรมชาติ เท่ากับ 80 : 20

ตัวอย่างที่	Energy (J)	ค่าการทนแรงกระแทก (E / 0.00635) J/m
1	0.320	50.39
2	0.344	54.17
3	0.308	48.50
4	0.364	57.32
5	0.344	54.17
6	0.338	53.22
7	0.308	48.50
8	0.336	52.91
9	0.360	59.84
10	0.316	49.76

Average = 53.98J/m

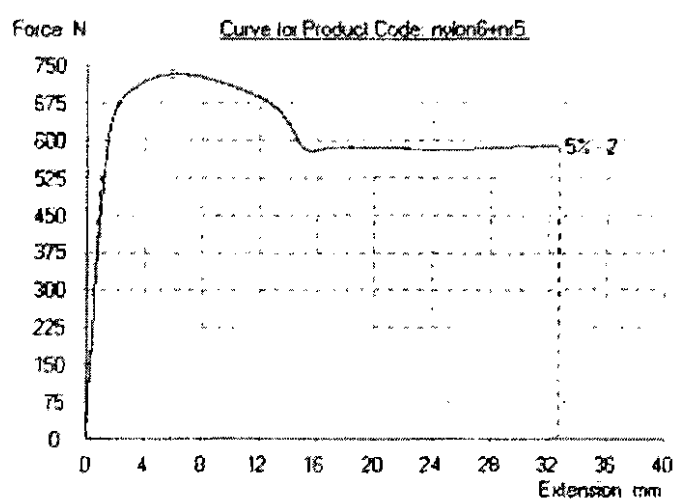
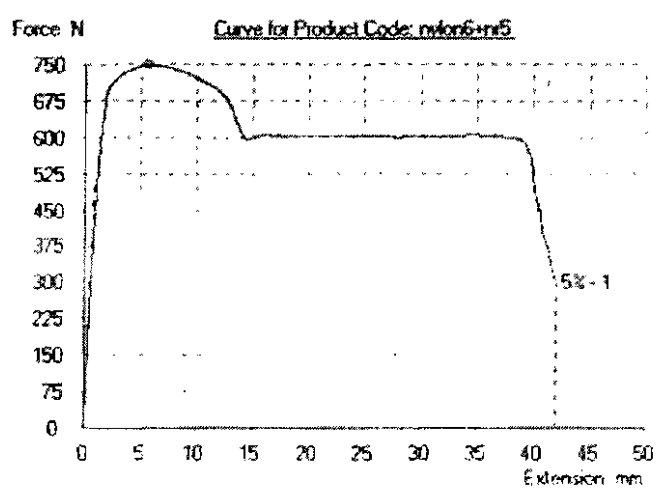
ตารางผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทก (Izod Impact ASTM D265-84)

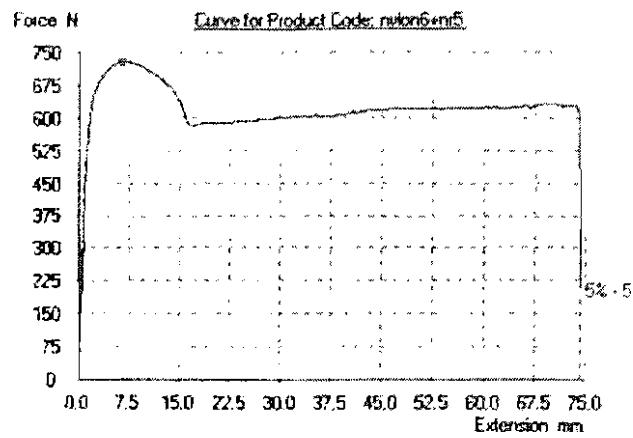
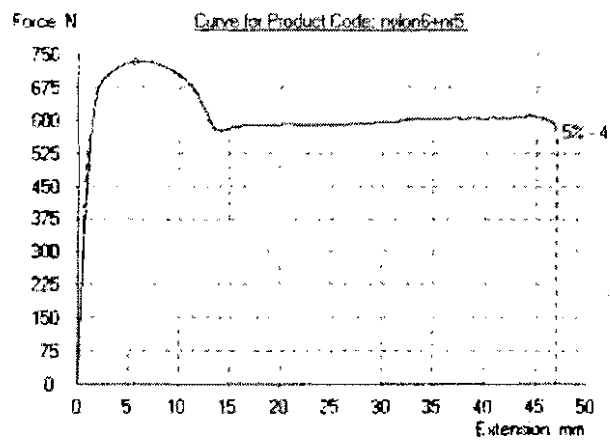
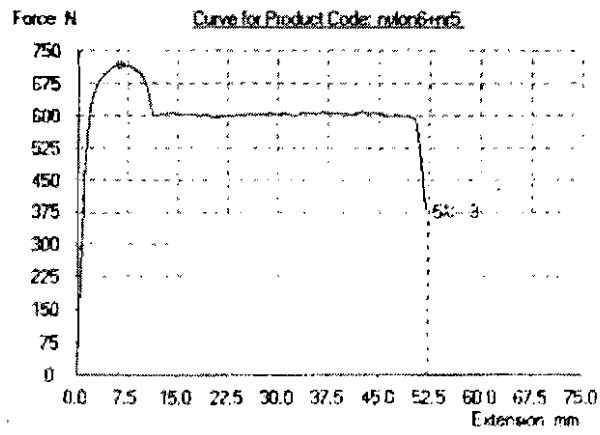
ที่อัตราส่วนผสมในลอน 6 : ยางธรรมชาติ เท่ากับ 70 : 30

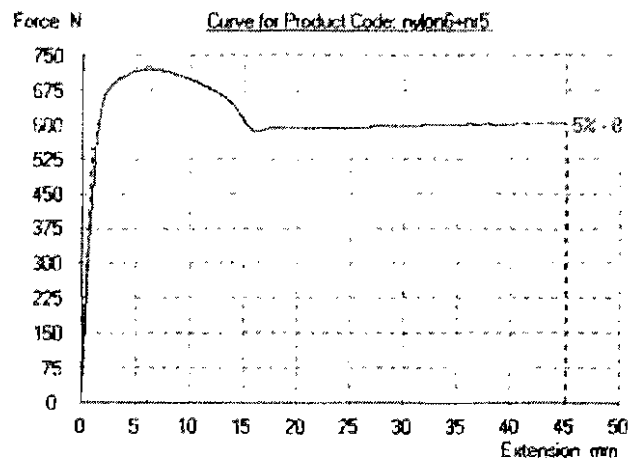
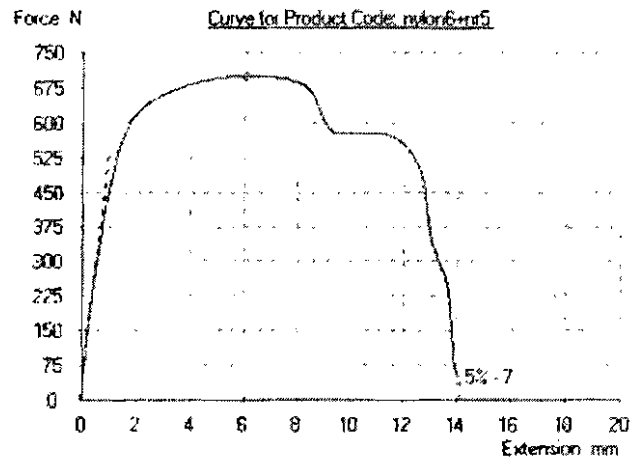
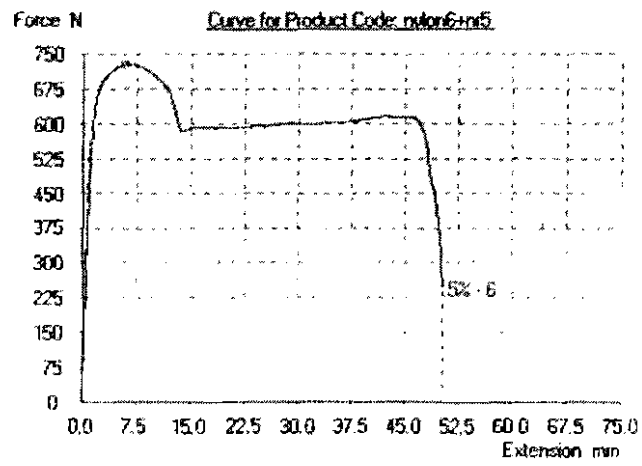
ตัวอย่างที่	Energy (J)	ค่าการทนแรงกระแทก (E / 0.00635) J/m
1	0.200	31.49
2	0.184	28.97
3	0.165	25.98
4	0.184	28.97
5	0.184	28.97
6	0.184	28.97
7	0.165	25.98
8	0.206	32.44
9	0.210	33.07
10	0.186	29.29

Average = 29.28 J/m

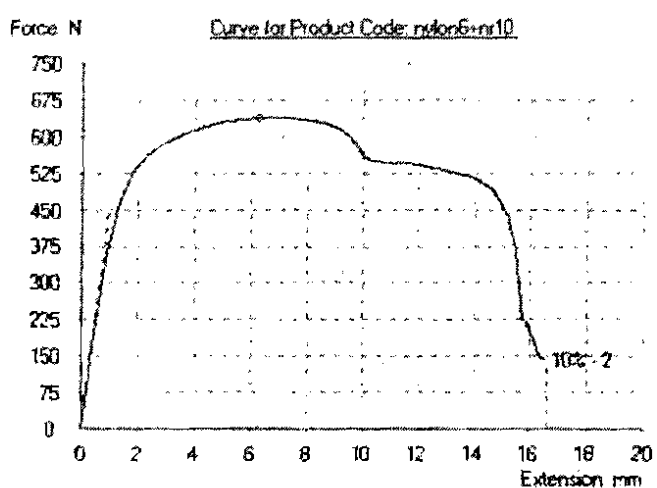
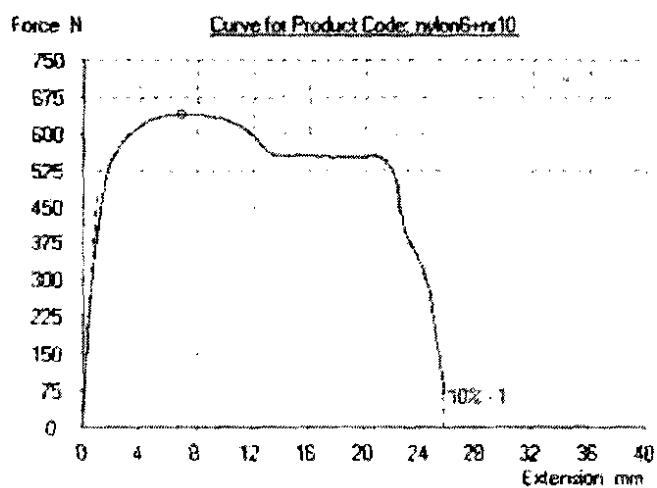
กราฟแสดงผลการทดสอบค่าทนแรงดึงของอัตราส่วนผสมที่ไนลอน 6 : ยางธรรมชาติ 95 : 5%

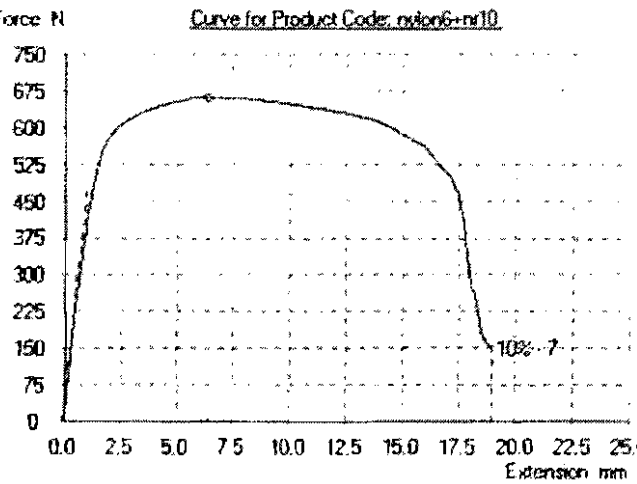
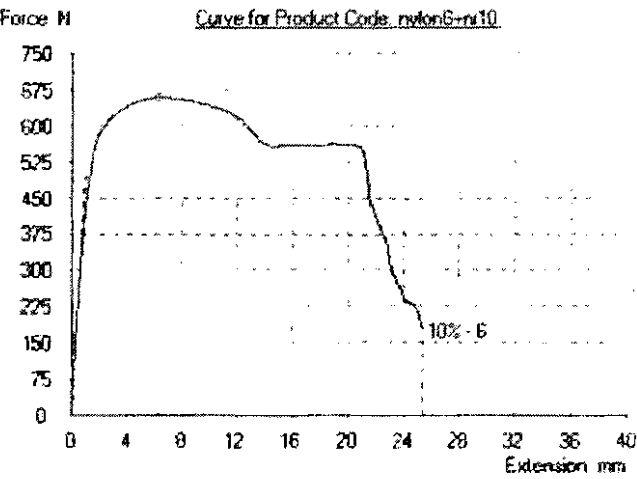
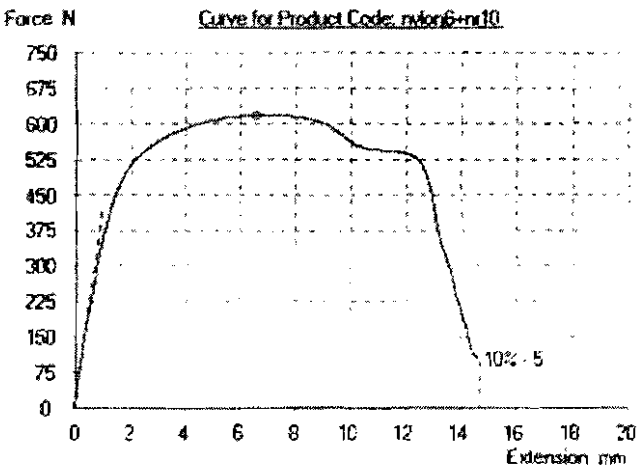


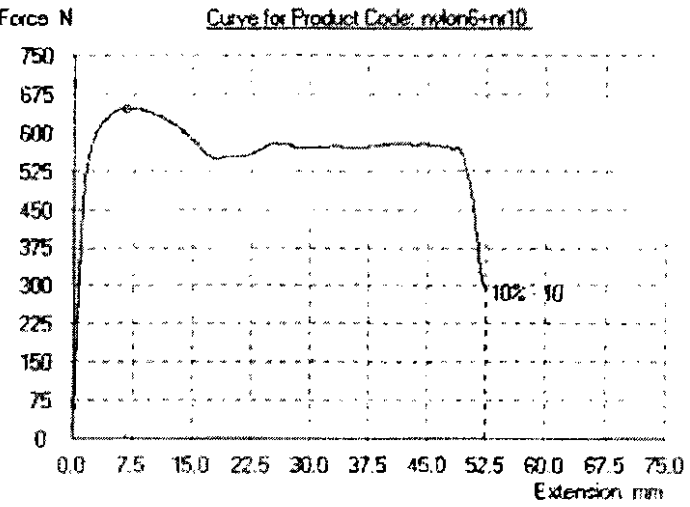
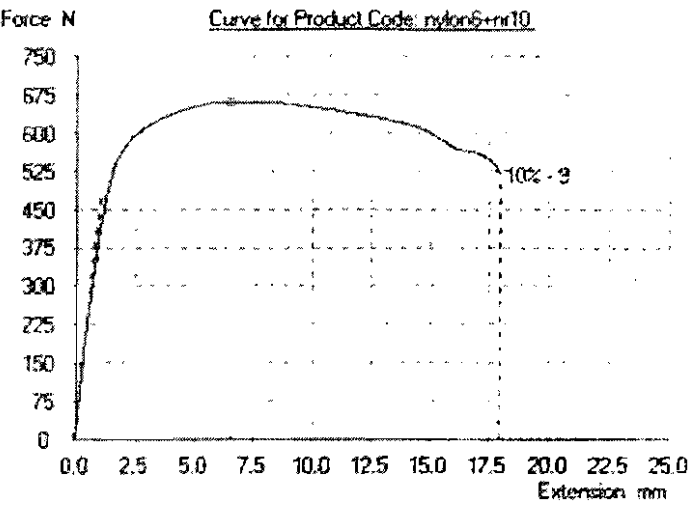
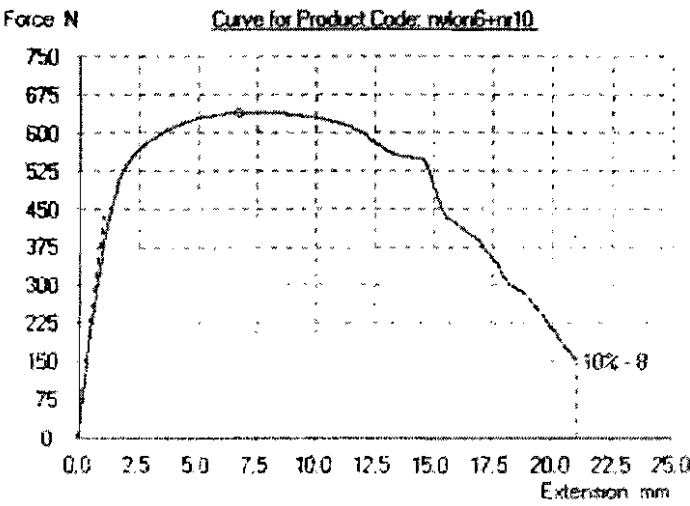




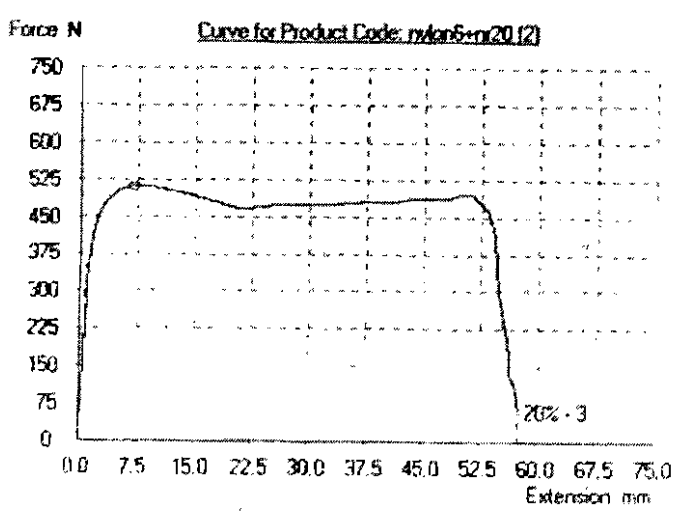
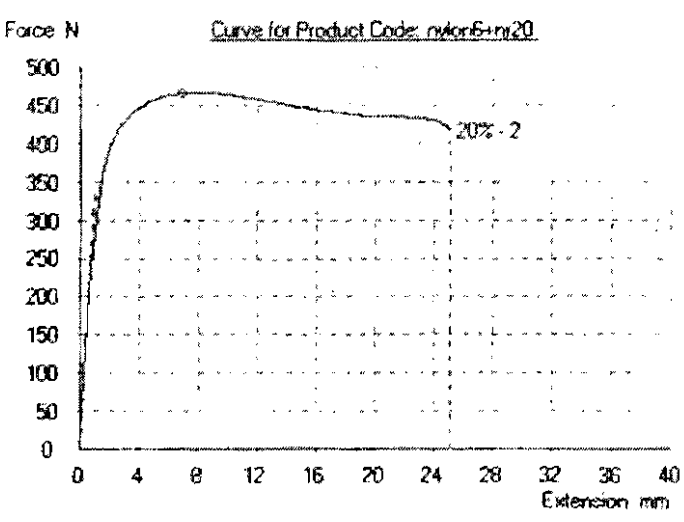
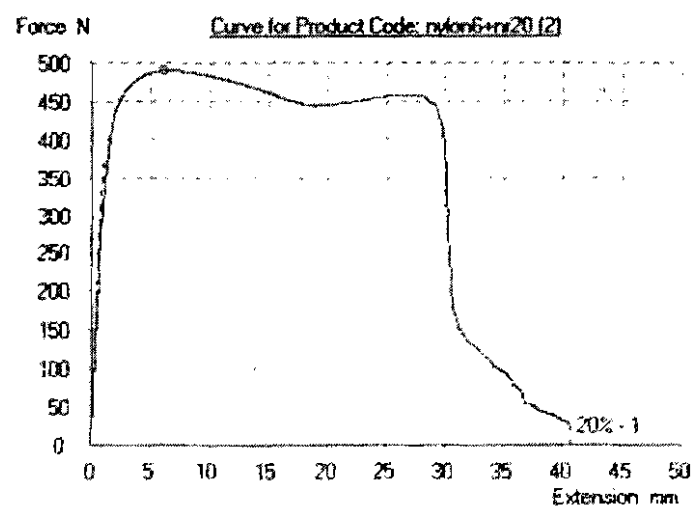
กราฟแสดงผลการทดสอบค่าทนแรงดึงของอัตราส่วนผสมที่ ไนลอน 6 : ยางธรรมชาติ 90 : 10%

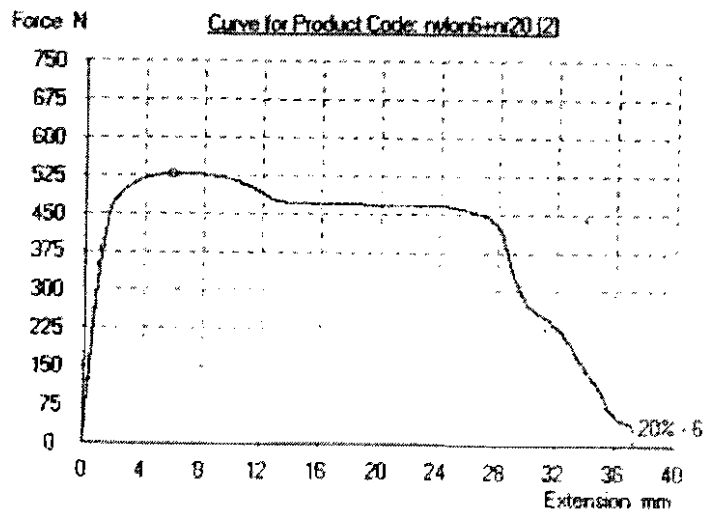
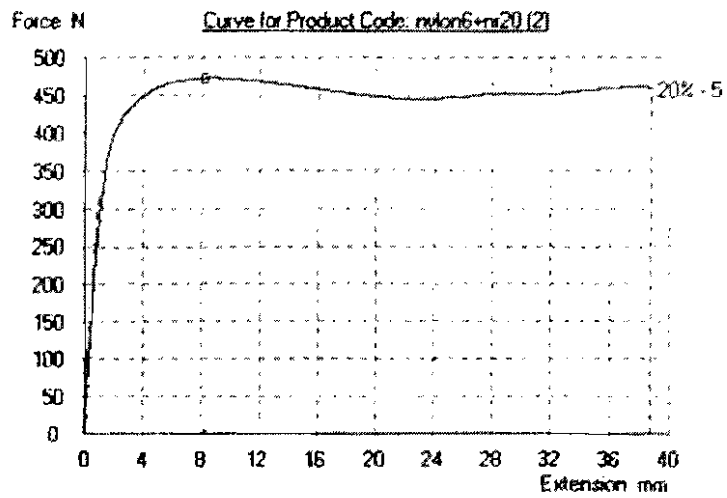
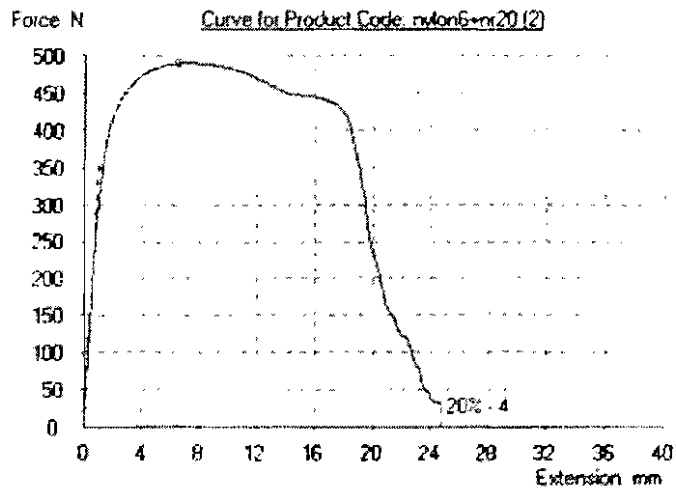


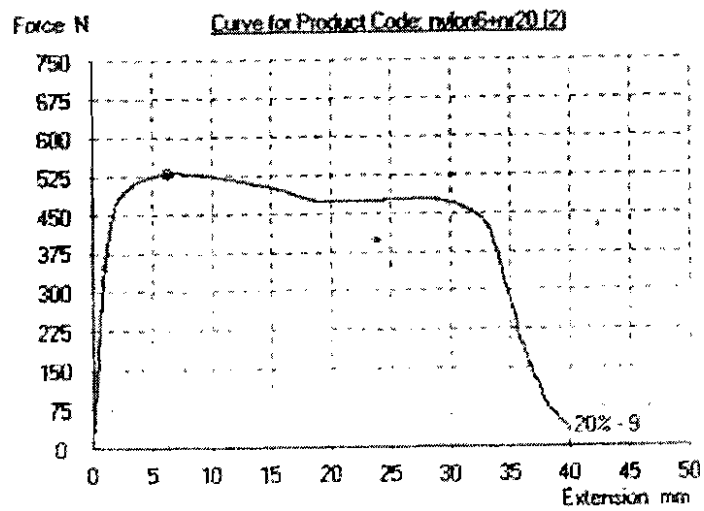
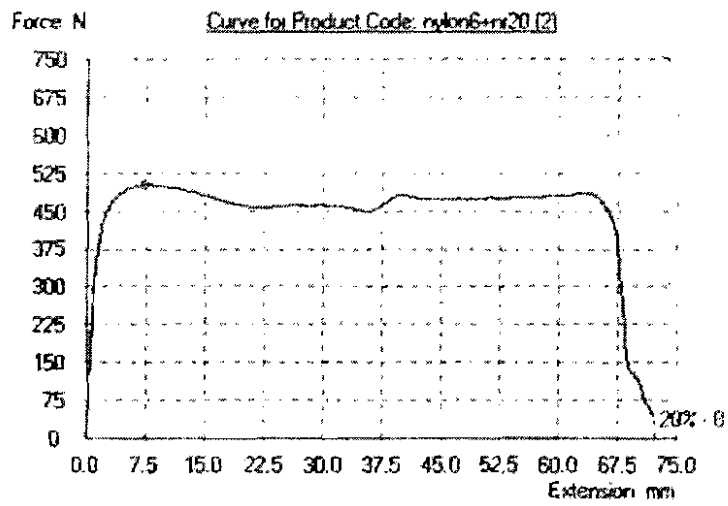
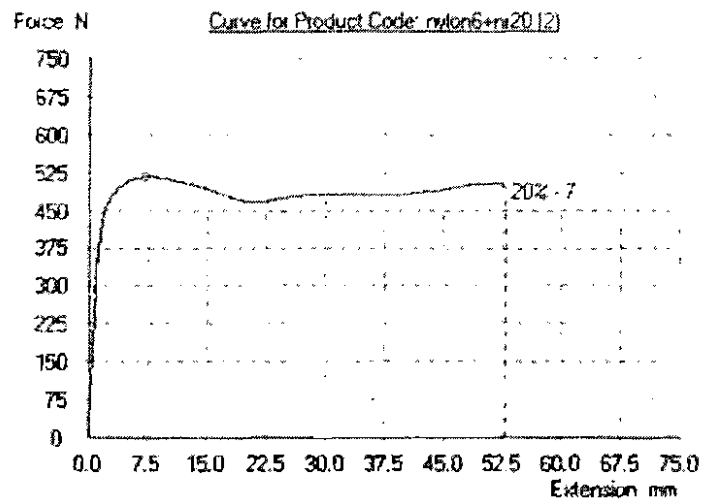


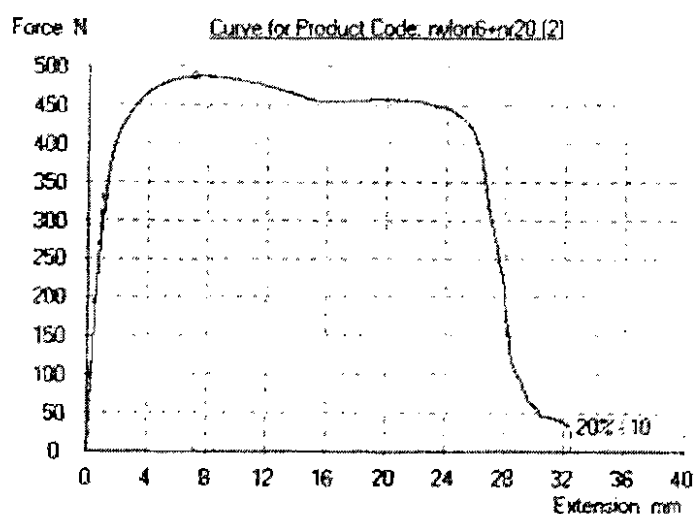


กราฟแสดงผลการทดสอบค่าทนแรงดึงของอัตราส่วนผสมที่ ไนลอน 6 : ยางธรรมชาติ 80 : 20%

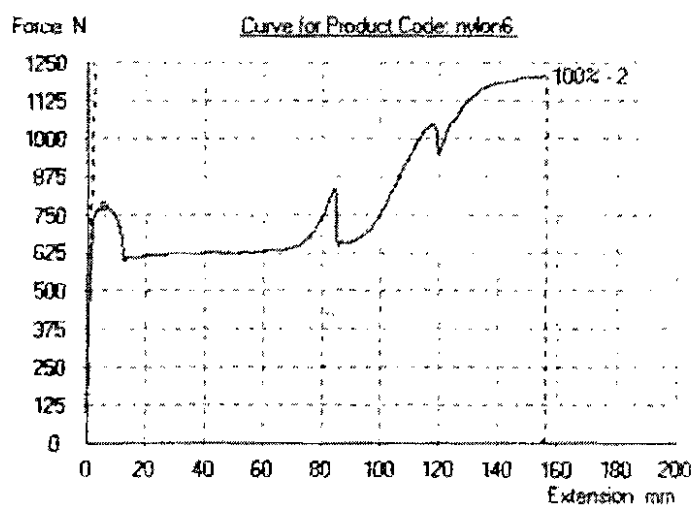
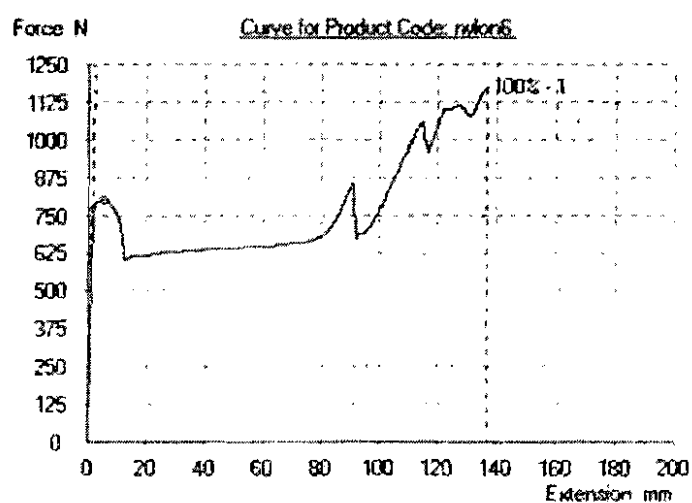


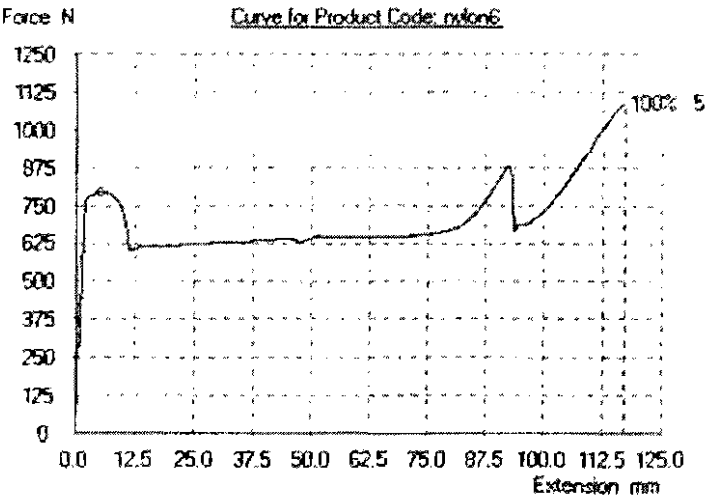
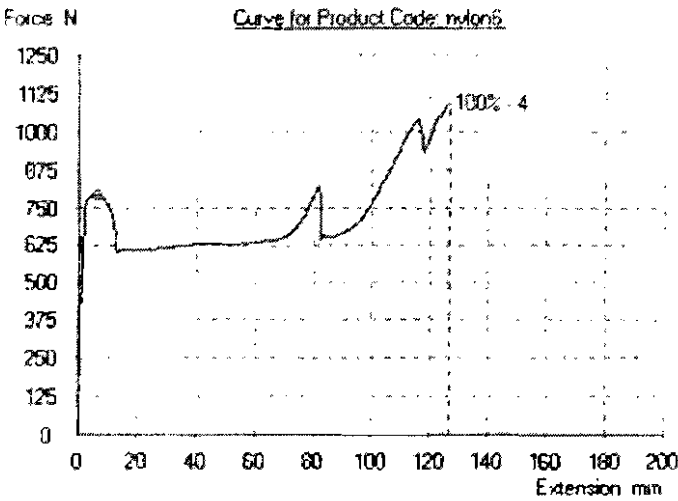
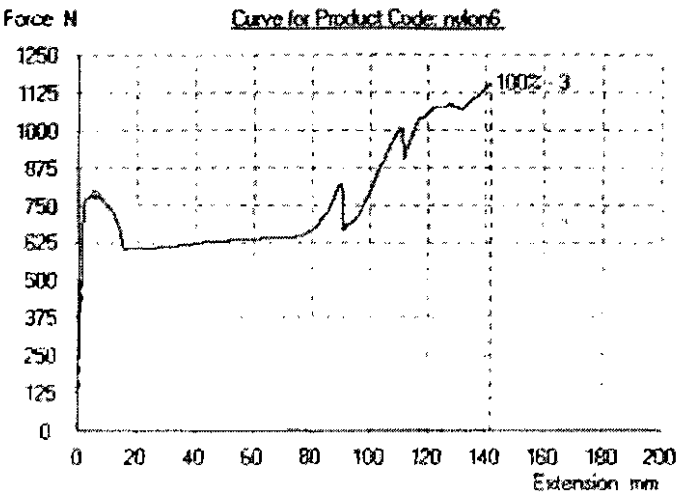


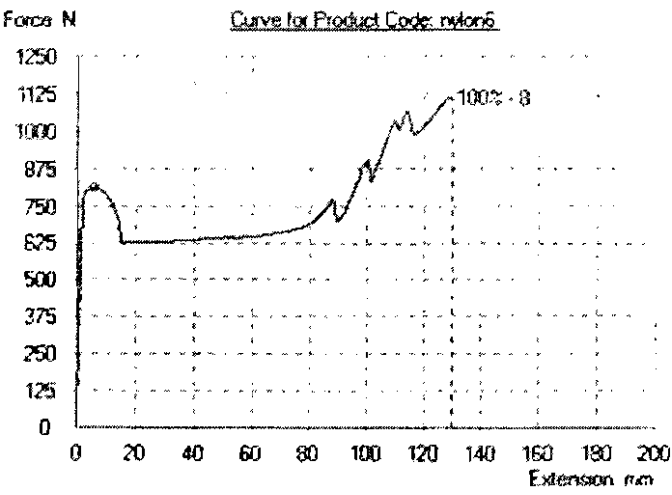
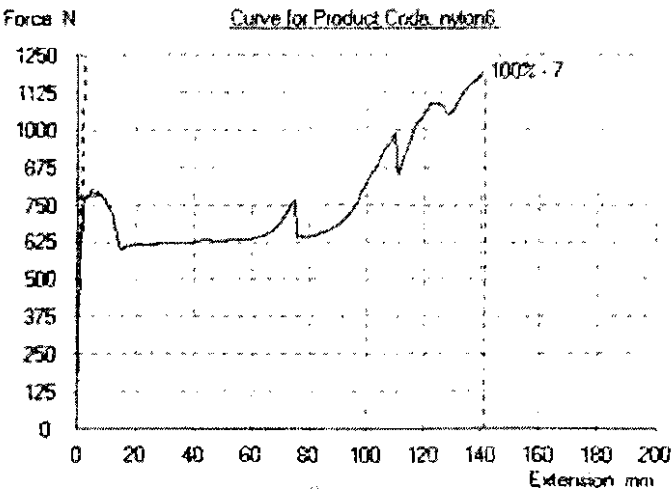
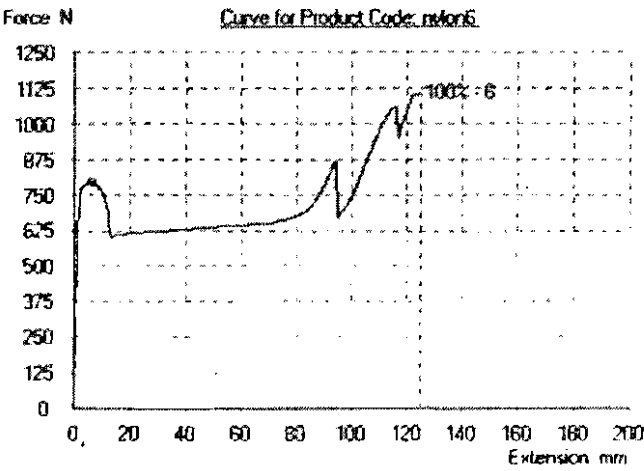


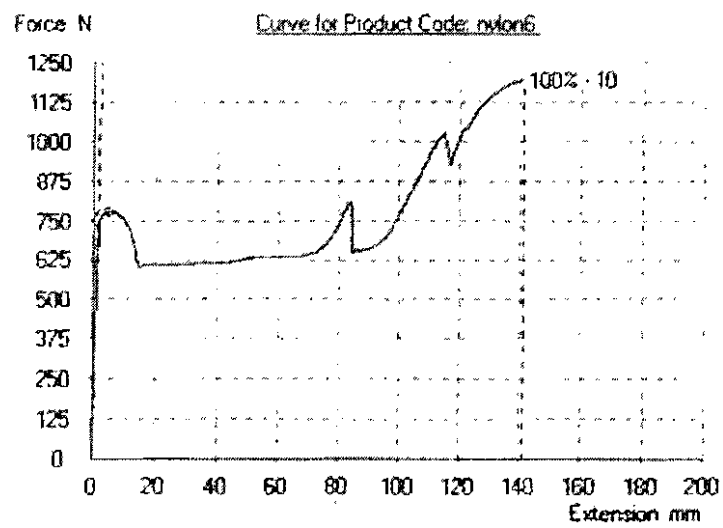
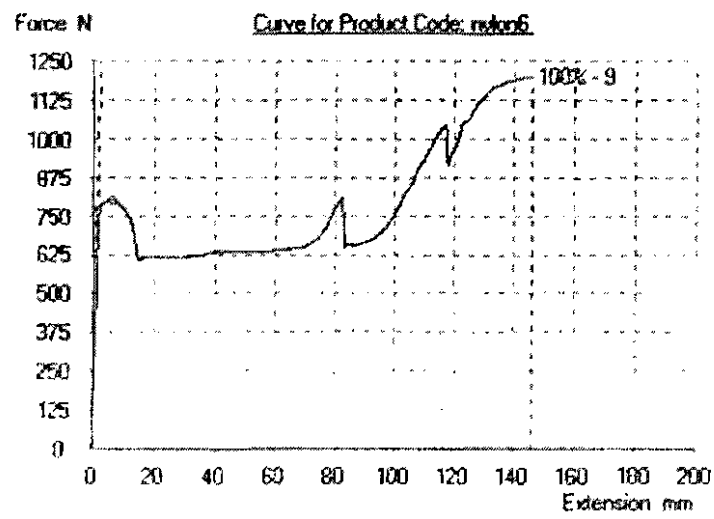


กราฟแสดงผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงของไนลอน 6, 100%









ตารางแสดงผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงของอัตราส่วนผสมที่ในลอน 6 : ยางธรรมชาติ เท่ากับ 95 : 5

Batch Reference	E. Modulus	Yield	Max Stress	Elong. at Break	Thickness	Width
	MPa	MPa	MPa	%	mm	mm
5%-1	2080	46.78	46.78	64.8	2.5	6.4
5%-2	2128	45.75	45.75	50.5	2.5	6.4
5%-3	2013	44.86	44.86	80.3	2.5	6.4
5%-4	2141	45.84	45.84	72.3	2.5	6.4
5%-5	1997	45.52	45.52	114.3	2.5	6.4
5%-6	2108	45.52	45.52	77.7	2.5	6.4
5%-7	2015	43.78	43.78	21.7	2.5	6.4
5%-8	2182	44.95	44.95	69.4	2.5	6.4
5%-9	211	45.75	45.75	17.4	2.5	6.4
5%-10	1596	40.78	43.17	152.3	2.5	6.4
n	10	10	10	10	10	10
Mean	2037	44.95	45.19	72.06	2.5	6.4
Median	2094	45.52	45.52	70.8	2.5	6.4
Std. Dev.	166.55	1.6608	1.0552	39.973	0	0
Maximum	2182	46.78	46.78	152.3	2.5	6.4
Minimum	1596	40.78	43.17	17.4	2.5	6.4

ตารางแสดงผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงของอัตราส่วนผสมที่ในลอน 6 : ยางธรรมชาติ 90%:10%

Batch Reference	E. Modulus	Yield	Max Stress	Elong. at Break	Thickness	Width
	MPa	MPa	MPa	%	mm	mm
10%-1	1873	40.03	40.03	39.69	2.5	6.4
10%-2	1826	39.89	39.89	25.54	2.5	6.4
10%-3	1895	38.95	38.95	24.77	2.5	6.4
10%-4	1725	39.38	39.38	23.85	2.5	6.4
10%-5	1666	38.63	38.63	22.62	2.5	6.4
10%-6	1937	41.2	41.2	39.08	2.5	6.4
10%-7	1904	41.3	41.3	29.23	2.5	6.4
10%-8	1706	39.98	39.98	32.46	2.5	6.4
10%-9	1842	41.34	41.34	27.69	2.5	6.4
10%-10	1504	40.45	40.45	80.88	2.5	6.4
n	10	10	10	10	10	10
Mean	1790.3	40.12	40.12	34.58	2.5	6.4
Median	1834	40.01	40.01	28.46	2.5	6.4
Std. Dev.	134.5	0.966	0.966	17.344	0	0
Range	434	2.72	2.72	58.27	0	0
Maximum	1937	41.34	41.34	80.88	2.5	6.4
Minimum	1504	38.63	38.63	22.62	2.5	6.4

ตารางแสดงผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงของอัตราส่วนผสมที่ในลอน 6 : ยางธรรมชาติ 80%:20%

Batch Reference	E. Modulus	Yield	Max Stress	Elong. at Break	Thickness	Width
	MPa	MPa	MPa	%	mm	mm
20%-1	1446	30.69	30.69	62.8	2.5	6.4
20%-2	1296	29016	29016	38.6	2.5	6.4
20%-3	1402	31.92	31.92	88.7	2.5	6.4
20%-4	1378	30.63	30.63	38.2	2.5	6.4
20%-5	1264	29.53	29.53	59.7	2.5	6.4
20%-6	1508	33	33	57.2	2.5	6.4
20%-7	1458	32.25	32.25	81.6	2.5	6.4
20%-8	1369	31.36	31.36	110.9	2.5	6.4
20%-9	1445	33.09	33.09	61.2	2.5	6.4
20%-10	1309	30.47	30.47	50	2.5	6.4
n	10	10	10	10	10	10
Mean	1387.6	31.21	31.21	64.89	2.5	6.4
Median	1390	31.02	31.02	60.5	2.5	6.4
Std. Dev.	79.342	1.3566	1.3566	22.883	0	0
Range	244	3.94	3.94	72.7	0	0
Maximum	1508	33.09	33.09	110.9	2.5	6.4
Minimum	1264	29.16	29.16	38.2	2.5	6.4

ตารางแสดงผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงของไนลอน 6 100%

Batch Reference	E. Modulus	Yield	Max Stress	Elong. at Break	Thickness	Width
	MPa	MPa	MPa	%	mm	mm
100%-1	1897	50.08	7307	210.8	2.5	6.4
100%-2	1925	48.52	75.5	240	2.5	6.4
100%-3	2217	48.83	72.6	218.5	2.5	6.4
100%-4	2139	49.53	68.53	195.4	2.5	6.4
100%-5	2238	49.61	67.9	180	2.5	6.4
100%-6	2177	49.61	69.5	192.3	2.5	6.4
100%-7	1904	49.45	74.6	216.9	2.5	6.4
100%-8	2253	50.7	69.5	200	2.5	6.4
100%-9	1836	50.16	75	224.6	2.5	6.4
100%-10	1823	48.67	74.8	216.9	2.5	6.4
n	1	1	1	1	1	1
Mean	1897	50.1	73.7	210.8	2.5	6.4
Median	1897	50.1	73.7	210.8	2.5	6.4
Std. Dev.	0	0	0	0	0	0
Range	0	0	0	0	0	0
Maximum	1897	50.1	73.7	210.8	2.5	6.4
Minimum	1897	50.1	73.7	210.8	2.5	6.4

ประวัติและผลงานทางวิชาการของหัวหน้าโครงการวิจัย

(ดร. สมหมาย ผิวสอาด)

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ดร. สมหมาย ผิวสอาด
(ภาษาอังกฤษ) Dr. Sommai Pivsa-Art
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
 1. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
โทรศัพท์ 0-2549-3480-5 โทรสาร 0-2549-3483
 2. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
โทรศัพท์ 0-2549-4681-2 โทรสาร 0-2549-4680
4. ประวัติการศึกษา
 - 2541 ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
Ph.D. in Engineering (Chemical Engineering) จาก Faculty of Engineering, Osaka
University ประเทศญี่ปุ่น
 - 2538 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
Master of Engineering (Chemical Engineering) จาก Faculty of Engineering, Osaka
University ประเทศญี่ปุ่น
 - 2527 ปริญญาตรี สาขาเคมี (Chemistry) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 - 2434 Training in Polymer Materials and Technology at Plastic Engineering Department,
Osaka Municipal Technical Research Institute, Osaka, JAPAN.
 - 2536 Research student in Professor Masakatsu Nomura Laboratory, Department of Applied
Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka University, Suita, Osaka, JAPAN.
 - 2542 STA Post-Doctoral Research Fellowship in Department of Organic Materials, Osaka
National Research Institute, AIST, Ministry of International Trade and Industry,
JAPAN.

Research Themes: Synthesis and Characterization of Biodegradable Polymers and the Polymer Recycle.

- 2542 – 2543 NEDO Post-Doctoral Research Fellowship in Department of Organic Materials, Osaka National Research Institute, AIST, Ministry of International Trade and Industry, **JAPAN.**

Research Themes: Synthesis and Characterization of Molecular Imprinting

- 2543 – 2544 ITIT Invitation Professor Fellowship Program in Department of Organic Materials, Osaka National Research Institute, AIST, Ministry of International Trade and Industry, **JAPAN.**

Research Themes: Synthesis and Characterization of Biodegradable Polymers and the Polymer Recycle:

- 2545 – 2546 Alexander von Humboldt Research Fellow in Department of Organic Chemistry, Bochum University, Bochum, **GERMANY.**

Research Themes: Synthesis of Nanosized pi-Conjugated Compounds

- 2546 Visiting Professor at Institute of Advanced Energy, Kyoto University, Kyoto, **JAPAN.**

Research Themes: Synthesis and Characterization of Composite Nano-structures for Photo-electrochemical Functional Materials.

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ

การสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ และการสังเคราะห์พอลิเมอร์ การเตรียมพอลิเมอร์ผสม การขึ้นรูปพอลิเมอร์ (Organic Synthesis using Transition Metal Catalyst, Biodegradable Polymer Synthesis, Polymer Blends, Synthesis and Characterization of Composite Nano-structures for Photo-electrochemical Functional Materials)

6. ผลงานวิจัย

1. **S. Pivsa-Art**, K. Okuro, M. Miura, S. Murata, and M. Nomura, "Acylation of 2-Methoxynaphthalene with Acyl Chlorides in the Presence of a Catalytic Amount of Lewis Acids", J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 1703-1707 (1994).
2. **S. Pivsa-Art**, Y. Fukui, M. Miura, and M. Nomura, "Copper-Promoted Reaction of Aryl Iodides with Activated Methine Compounds", Bull. Chem. Soc. Jpn., 69, 2039-2042 (1996).



3. **S. Pivsa-Art**, T. Satoh, M. Miura, and M. Nomura, "Palladium-Catalyzed Reaction of Aryl Bromides with Dialkylacetylenes to Produce Allenic Compounds", *Chem. Lett.*, 823-824 (1997).
4. **S. Pivsa-Art**, T. Satoh, Y. Kawamura, M. Miura, and M. Nomura, "Palladium-Catalyzed Arylation of Azole Compounds with Aryl Halides in the Presence of Alkali Metal Carbonates and the Use of Copper Iodide in the Reaction", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 71, 467-473 (1998)
5. M. Miura, **S. Pivsa-Art**, G. Dyker, J. Heiermann, T. Satoh, and M. Nomura, (1998): Palladium-Catalyzed Reaction of Aryl Bromides with Metallocenes to Produce Pentaarylated Cyclopentadienes. *J. Chem. Soc., Chemical Communication*, 1889-1890 (1998).
6. **Pivsa-Art, S.**, Nakayama, A., Kawasaki, N., Yamamoto, N. and Aiba, S. (2002): Biodegradability Study of Copolyesteramides based on Diacid Chlorides, Diamines, and Diols, *Journal of Applied Polymer Science*, 85, 4, 774-784.
7. Pavasupree, S., Suzuki, Y., Kitiyanan, A., **Pivsa-Art, S.**, Yoshikawa, S. (2005): Synthesis and Characterization of Vanadium Oxides Nanorods, *Journal of Solid State Chemistry*, 178, 2152-2158
8. Pavasupree, S., Suzuki, Y., **Pivsa-Art, S.**, Yoshikawa, S. (2005): Preparation and Characterization of Mesoporous MO_2 ($\text{M} = \text{Ti}, \text{Ce}, \text{Zr}$ and Hf) Nanopowders by a Modified Sol-Gel Method, *Ceramics International*, 31, 959-963
9. Pavasupree, S., Suzuki, Y., **Pivsa-Art, S.**, Yoshikawa, S. (2005): Preparation and Characterization of Mesoporous $\text{TO}_2 - \text{CeO}_2$ Nanopowders respond to visible wavelength, *Journal of Solid State Chemistry*, 178, 128-134
10. Pavasupree, S., Suzuki, Y., **Pivsa-Art, S.**, Yoshikawa, S. (2005): Synthesis and Characterization of Nanoporous, Nanorods, Nanowires Metal Oxides, *Science and Technology of Advanced Materials*, 6, 224-229
